

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ

«___» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-науковою програмою «Біотехнології»

зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

**на тему: «Біологічне доочищення стічних вод від сполук нітрогену з
використанням вищих водних рослин»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи БЕ-81мн
Гаврилишина Євгенія Ігорівна _____

Керівник:

Проф. КЕБ, д.т.н.
Саблій Лариса Андріївна _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:

Доцент, к.е.н, доцент,
Ткаченко Тетяна Петрівна _____

Рецензент:

Проф. каф. аналітичної і біонеорганічної хімії
та якості води і каф. екології агросфери
екологічного контролю НУБіП України.д.х.н., професор
Максін Віктор Віталій Іванович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-наукова програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Гаврилишиній Євгенії Ігорівні

1. Тема дисертації «Біологічне доочищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням вищих водних рослин», науковий керівник дисертації Саблій Лариса Андріївна д.т.н., проф., затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: Використання вищих водних рослин *Lemna minor* для біологічного доочищення стічних вод від сполук нітрогену

4. Предмет дослідження: Умови та параметри процесу очищення стічних вод від нітратів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. провести аналіз сучасної літератури та дослідити розподіл сполук у процесах метаболізму *Lemna minor*; 2. розглянути відомі та встановити можливі новітні методи доочищення стічних вод від сполук азоту; 3. провести дослідження раціональних умов та параметрів процесу очищення від сполук нітратів забруднених вод рясковими роду *Lemna minor*; 4. визначити ефективність

очищення стічних вод від сполук нітратів в залежності від різних величин параметрів процесу; 5. розробити стартап-проект

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій: заплановано написання тез за темами "Біологічне очищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням вищих водних рослин", "Біологічне очищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням *Lemna minor*", "Проблема біологічного очищення стічних вод від азотвмісних сполук з використанням *Lemna minor*"

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Ткаченко Т.П., доцент		

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук літературних джерел з теми магістерської дисертації	01.09.2018-11.02.2019	
2	Вивчення морфології та процесів метаболізму	11.02.2019-11.03.2019	
3	Розгляд існуючих методів доочищення стічних вод	11.03.2019-15.09.2019	
4	Вибір оптимального методу доочищення стічних вод	15.09.2019-17.11.2019	
5	Дослідження умов необхідних для культивування <i>Lemna minor</i>	17.11.2019- 03.02.2020	
	Дослідження ефективності очищення стічних вод від біогенних сполук ряскою <i>Lemna minor</i>	03.02.2020-06.03.2020	
	Розроблення стартап-проекту	06.03.2020-05.04.2020	
	Оформлення пояснювальної записки	05.04.2020-01.05.2020	

Студент
Науковий керівник

Євгенія ГАВРИЛИШИНА
Лариса САБЛІЙ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 103 с., 34 рис., 42 табл., 61 посилань.

Досліджено та обґрунтовано ефективність процесів біотехнології очищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням вищих водних рослин виду *Lemna minor*. Наведено переваги застосування біологічних методів очищення стічних вод.

У магістерській дисертації було проведено аналіз сучасної літератури за останні 20 років стосовно сучасних екологічних проблем водокористування, причин та умов їх формування та шляхів їх вирішення. Було проведено порівняння технологій, що здатні до елімінації нітратвмісних сполук. Запропоновано перспективний метод очищення стічних вод від біогенних сполук в біоставках з використанням вищих водних рослин виду *Lemna minor*. Розглянуто необхідні умови для культивування рослин виду *Lemna minor*. Виконано експериментальну частину з метою встановлення ефективності вилучення сполук Нітрогену з модельних розчинів рослинами виду *Lemna minor*. На основі магістерської роботи розроблено стартап-проект.

СТІЧНІ ВОДИ, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, ВИЩІ ВОДНІ РОСЛИНИ,
LEMNA MINOR, БІОГЕННІ СПОЛУКИ, НІТРАТИ.

ABSTRACT

Explanatory note: 103 p., 34 fig., 42 tab., 61 references.

The existing biological methods of purifying sewage from biogenic compounds from nitrogen compounds using higher aquatic plants of *Lemna minor* species was investigated and substantiated. Advantages of biological methods of purifying sewage are given.

The analysis of modern literature over the last 20 years concerning the current environmental problems of water use, the causes and conditions of problems' formation and ways of their solution was done in the master's thesis . Technologies that can eliminating nitrat-containing compounds was compared. A promising method of purifying wastewater in biogenic compounds in bio-supplies using higher aquatic plants of the species *Lemna minor* is proposed. The necessary conditions for cultivation *Lemna minor* species are considered. The experimental part was performed to determine the efficiency of extraction of Nitrogen compounds from model solutions by plants of the species *Lemna minor*. The startup project was developed on the basis of the master's thesis.

WASTE WATER, BIOLOGICAL TREATMENT, HIGHER WATER PLANTS,
LEMNA MINOR, BIOGENIC COMPOUNDS, NITRATES.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ І МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СПОЛУК НІТРОГЕНУ	14
1.1 Вплив сполук нітрогену антропогенного походження на водну екосистему та людину.	14
1.2 Аналіз сучасних методів вилучення сполук нітрогену зі стічних вод ...	16
1.2.1 Проблеми використання методу іонного обміну для очищення стічних вод від сполук нітрогену	19
1.2.2 Проблеми використання методу зворотнього осмосу для очищення стічних вод від сполук нітрогену	21
1.2.3 Проблеми використання електродіалізного методу для очищення стічних вод від сполук нітрогену	22
1.2.4 Проблеми використання методу хімічної денітрифікації для очищення стічних вод від сполук нітрогену	24
1.2.5 Проблеми використання біологічного методу для очищення стічних вод від сполук нітрогену	25
1.3. Аналіз умов вирощування та ефектів вилучення забруднюючих речовин ВВР роду <i>Letnaseae</i> із стічних вод	30
1.3.1 Морфологія ВВР родини <i>Letnaseae</i>	30
1.3.2 Умови вирощування рослини родини <i>Letnaseae</i>	33
1.3.3 Фактори, які впливають на вилучення біогенних сполук із стічних вод ВВР родини <i>Letnaseae</i>	34
1.3.4 Утилізація рослини родини <i>Letnaseae</i> після біологічного доочищення.....	36

1.3.5 Потенційні можливості та обмеження рослин родини <i>Lemnaceae</i> при використанні для очищення стічних вод.....	37
Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	40
2.1 Методика виконання підготовчих робіт.....	41
2.1.1 Методика підготовки поживного середовища (маточні розчини) та перенесання <i>Lemna minor</i> у біореактор	41
2.1.2 Підготовка модельних розчинів з вмістом іонів NO_3^- для дослідів..	43
2.1.3 Підготовка розчинів для градувального графіка та його побудова для визначення концентрації NO_3^-	44
2.2 Методика виконання основних робіт.....	45
2.2.1 Методика дослідження впливу тривалості очищення на ефективність видалення нітратів при різних початкових концентраціях NO_3^-	45
2.2.2 Методика дослідження впливу площі поверхні модельних споруд та співвідношення шару ВВР <i>Lemna minor</i> до шару води на процес доочищення.	46
Висновки до розділу	49
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	50
3.1 Дослідження впливу тривалості очищення на ефективність видалення нітратів вищими водними рослинами <i>Lemna minor</i> при різних початкових концентраціях NO_3^- у воді	50
3.2 Дослідження впливу площі поверхні модельних споруд та співвідношення товщини шару ВВР <i>Lemna minor</i> до глибини води на процес очищення.....	56
Висновки до розділу	70
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	73
4.1 Аналіз внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства	75
4.2 Визначення ключових факторів успіху проекту.....	78

4.3 Визначення потенційного споживачів	80
4.4 Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту	81
4.5 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту	88
4.6 Ризики та страхування розробки	91
Висновки до розділу	94
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКРОЧЕНЬ

СВ – стічні води;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ІО – іонний обмін;

ЗО – зворотний осмос;

ЕД – електродіаліз;

ІЕД – інверсійний електродіаліз;

БД – біологічне доочищення;

ХД – хімічна денітрифікація;

БСК – біологічне споживання кисню;

ХСК – хімічне споживання кисню;

ЗР – завислі речовини;

АМ – активний мул;

ВВР – вищі водні рослини.

ВСТУП

Актуальність досліджень. Розробка економічно ефективних та екологічних технологій очищення стічних вод, забруднених різноманітними хімічними сполуками, які згубно діють на живі організми та здоров'я людини - тема глобального інтересу. Особливо це стосується забруднень поверхневих вод сполуками нітратів, що потрапляють із виробничими, господарсько-побутовими стічними водами та поверхневим стоком, що надходить із сільськогосподарських територій.

Надлишок сполук N погіршує якість води, створює ризики для людей та худоби, загрожуює рідкісним середовищам проживання, екосистемам та прискорює природний процес евтрофікації у водних системах. Високий рівень N у поверхневих водах спричинив у 2019 великі гіпоксичні зони (збіднені киснем) і, відповідно, масові замори риби в річках Київської, Черкаської, Харківської, Одеської, Миколаївської, Запорізької, Херсонської, Житомирської, Полтавської областях.

У багатьох водоймах спостерігається прискорена евтрофікація - процес, коли водойми отримують надлишки біогенних речовин через стоки. Такі речовини стимулюють надмірний ріст рослин, а водна екосистема стає неврівноваженою. Загнивання рослинності негативно позначається на якості води за рахунок зниження концентрації розчиненого кисню у воді та вивільнення біогенних речовин, що призводить до більшого росту рослинності. Органічні речовини, що не розкладаються, додаються до донних відкладів, які накопичуються до тих пір, поки водний об'єкт не перестає ефективно управляти об'ємом стоку.

Вищі водні рослини здатні виводити різноманітні забруднюючі речовини із води, включаючи основні сільськогосподарські забруднювачі - сполуки нітрогену (N) та фосфору (P). Ряска мала (*Lemna minor*) представляє особливий інтерес. Рослина пристосована до широкого спектру факторів навколишнього середовища, включаючи рН, солоність та температуру. Її

висока продуктивність та ефективне видалення нею з води азоту роблять ряскові придатними для використання в системах очищення стічних вод.

Ряска може рости в колоніях, які в умовах сонячного освітлення утворюють щільний і рівномірний поверхневий килимок, що забезпечує велику площу поверхні для поглинання, адсорбції та іммобілізації мікроорганізмів.

Фіторемедіаційні технології очищення і доочищення стічних вод, засновані на використанні рослин в симбіозі з мікроорганізмами, представляють в екологічному плані ефективне доповнення, а в деяких випадках, - альтернативу традиційним технологіям. Фіторемедіація в середньому в 10 разів дешевше фізико-хімічних методів очищення, процес вилучення полутантів відбувається безпосередньо на місці їх локалізації *in situ*.

Ступінь розробленості теми дослідження. На сьогодні досліджено ефективність засвоєння біогенних речовин ряскою і високі темпи росту, при вирощуванні в багатих на такі речовини стічних водах [1]. Відомі дані, що за вісім тижнів система очищення на основі ряски може вилучити до 83,7% загального азоту та 89,4% загального фосфору, при частковому вилученні її два рази на тиждень [2]. Вивчено, що *L.minor* може також засвоювати значну кількість неорганічного азоту через коріння та листки [3]. Іони амонію є кращими формами для поглинання азоту ряскою [4]. У [5] зазначено, що *L.minor* здатна до життєдіяльності при від'ємних температурах протягом багатьох днів.

Мета роботи - встановити вплив умов процесу біологічного очищення стічних вод на ефективність видалення сполук нітрогену рослинами рясок роду *Lemna minor* для збільшення ступеня очищення стічних вод від сполук азоту, зменшення економічних витрат на будівництво та експлуатацію очисних споруд та досягнення відповідності якісних та кількісних характеристик очищеної води нормативним вимогам до скиду у природні водойми України.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- провести аналіз сучасної літератури та дослідити розподіл сполук нітратів у процесах метаболізму *Lemna minor*;
- розглянути відомі та встановити можливі новітні методи доочищення стічних вод від сполук азоту;
- провести дослідження раціональних умов та параметрів процесу очищення від сполук нітратів забруднених вод рясковими роду *Lemna minor*;
- визначити ефективність очищення стічних вод від сполук нітратів в залежності від різних величин параметрів процесу;
- розробити стартап-проект.

Об'єкт дослідження – використання вищих водних рослин, а саме *Lemna minor* для біологічного доочищення стічних вод від сполук нітрогену.

Предмет дослідження – модельні розчини, що за вмістом сполук нітрогену близькі до реальних стічних вод; умови та параметри процесу очищення стічних вод від нітратів.

Методи дослідження. Основні методи, що було використано у ході експериментів: фотоколориметричний, потенціометричний. Усі необхідні розчини було зроблено у відповідності до існуючих стандартів та методик. У ході аналізу отриманих результатів було використано програмований табличний калькулятор Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів. Вивчено типові метаболічні шляхи засвоєння нітратів вищими водними рослинами *Lemna minor*; встановлено раціональні умови та параметри процесу для ефективного очищення стічних вод від сполук нітрогену вищими водними рослинами роду *Lemna minor*; визначено тривалість процесу очищення, при якій ефективність використання ряски, для вилучення сполук нітрогену з води, була найвищою.

Апробація результатів роботи. За результатами проведених експериментів підготовлено та опубліковано наступні тези:

1. Гаврилишина Є. І. Біологічне очищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням вищих водних рослин / Є. І. Гаврилишина, Л. А. Саблій //

- Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (14-15 листопада 2019 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ): матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф./ Уклад. Жукова В. – 2019. – 243 с.
2. Гаврилишина Є. І. Біологічне очищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням *Lemna minor* / Є. І. Гаврилишина, Л. А. Саблій // Біотехнологія XXI століття (24 квітня 2020 р., КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ): матер. XIV Всеукр. наук.-практ. конф. – 2020.
 3. Гаврилишина Є. І. Проблема біологічного очищення стічних вод від азотвмісних сполук з використанням *Lemna minor* / Є. І. Гаврилишина, Л. А. Саблій // Перспективні матеріали та інноваційні технології: біотехнологія, прикладна хімія та екологія (14-15 травня 2020 р., КНУТД, м. Київ): матер. Міжнар. наук.-практ. конф. – 2020.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ І МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СПОЛУК НІТРОГЕНУ

1.1 Вплив сполук нітрогену антропогенного походження на водну екосистему та людину.

Видалення сполук нітрогену у процесі очищення стічних вод є важливим етапом. Це пов'язано з тим, що неочищені стічні води містять велику кількість органічного азоту та аміаку. Ці сполуки складають більшу частину загального азоту, що надходять у водойми при скиді. Хімія нітрогену ускладнюється безліччю окиснених станів, які елемент приймає у своїх сполуках. Однак величини ступеня окиснення -3, +3 та +5 мають найбільше значення для біотехнологів, хіміків та інженерів-екологів.

Поширеними у стічних водах господарсько-побутового та виробничого походження є іони аміаку (NH_3), нітритів (NO_2^-) та нітратів (NO_3^-) [6]. Відходи тваринного походження містять значну кількість азоту, що входить до складу органічних сполук. Сеча містить азот переважно у вигляді $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$. Через певний час ці форми в аеробному середовищі переходять у нітрат. Нітрат-іон є найбільш окисненою формою азоту і хімічно неактивний у воді.

Нітрати містяться у більшості природних вод у помірних концентраціях, але їх вміст часто підвищується за рахунок надмірного використання добрив та неконтрольованого скидання неочищених стічних вод. На гідрологічній карті світу евтрофікація є однією з найважливіших проблем, що викликають деградацію прісноводних екосистем. Надмірне збагачення біогенними речовинами призводить до зміни оліготрофних водних об'єктів на мезотрофні, евтрофічні та, нарешті, гіпертрофічні. Евтрофікація представляє загрозу для вод, які використовуються у рибному господарстві, рекреації, промисловості та питному водопостачанні, оскільки спричиняє посилений ріст ціанобактерій та водних макрофітів, що призводить до зниження концентрації кисню, загибелі та розкладання водної флори та фауни [7].

Під евтрофікацією розуміється природне або штучне надходження забруднюючих речовин до водних об'єктів та вплив контамінантів на гідробіонтів. Якщо наслідки надмірні, евтрофікацію можна вважати формою забруднення. Виходячи зі стану та концентрації біогенних сполук, водні системи можна класифікувати на три типи [8] (рис.1.1):

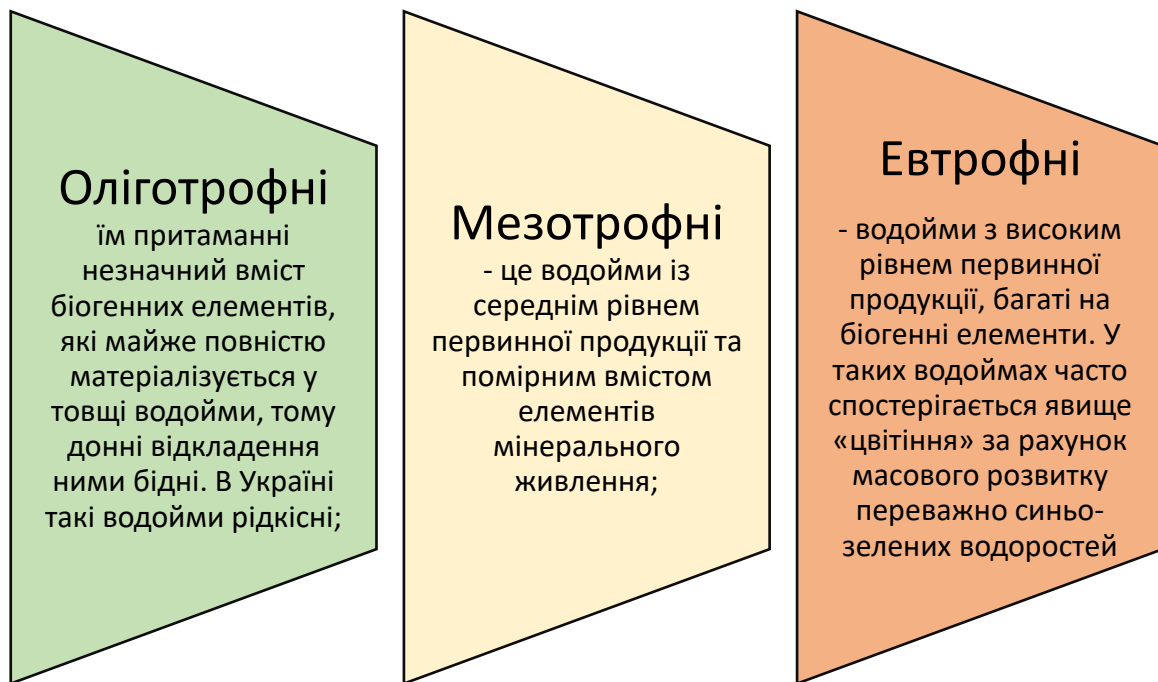


Рис.1.1 – Класифікація водних систем

Евтрофікація може бути визначена як сума ефектів надмірного росту фітопланктону, бентосних водоростей та макрофітів, що призводить до незбалансованої первинної та вторинної продуктивності, спричиненої надлишковими біогенними сполуками. Роль складного органічного азоту, що веде до евтрофікації вод, значною мірою не помічена, хоча азот зустрічається переважно як органіка, через більш високу швидкість розкладання [9]. Джерела азоту в навколишньому середовищі посилюють ріст рослин, водночас діють як забруднювач у водоймах, стаючи серйозною проблемою у всьому світі. Підвищені концентрації нітратів та інших форм азоту посилюють евтрофікацію водних екосистем [8, 10, 11].

Побутові стічні води (багаті фосфатами та нітратами) при скиді у водойми роблять їх «евтрофічними». Збагачення біогенними сполуками є початковою точкою евтрофікації в будь-якій водоймі і супроводжується неконтрольованим ростом первинних продуцентів, які призводять до зменшення концентрації кисню внаслідок розкладення органічної речовини.

Нітрат-іон також був визначений як потенційно небезпечний для здоров'я немовлят та вагітних жінок [12, 13]. Це пов'язано з відновленням нітрату до нітрит-іону в шлунку немовлят, який може зв'язуватися з гемоглобіном крові, тим самим зменшуючи передачу кисню клітинам організму, що призводить до синього відтінку шкіри, який часто називають метгемоглобінемією або синдромом синього немовля.

Збільшення використання азотних добрив може призвести до надмірного вмісту нітратів у зелені овочах. За певних умов нітрати можуть перетворюватися на набагато більш отруйні нітроти і, зрештою, навіть у канцерогенний нітрозамін, який, насамперед, уражає стравохід та глотку (шлунково-кишковий тракт). Нітроти і нітрати також часто використовуються як консерванти для м'яса.

1.2 Аналіз сучасних методів вилучення сполук нітрогену зі стічних вод

Фізико-хімічні методи - коагуляція, фторування, хлорування, УФ, обробка озоном, що застосовуються при очищенні води, не ефективні для видалення нітрат-іону з води. Тому доцільно застосовувати інші методи.

Методи, здатні до елімінації нітратів, можна класифікувати на п'ять основних типів. Іонний обмін (ІО), зворотний осмос (ЗО) та електродіаліз/інверсійний електродіаліз (ЕД / ІЕД) видаляють нітрати в концентрат відходів, в той час як біологічне доочищення (БД) і хімічна денітрифікація (ХД) перетворюють нітрати в інші сполуки азоту за рахунок ланцюга реакцій. Ідеальний процес вилучення нітратів повинен дати можливість обробляти великі обсяги води за низькою вартістю. Крім того,

бажано, щоб процес добре адаптувався до різних навантажень за забрудненнями та працював без додаткових реагентів.

Загальні проблеми при застосуванні технологій очищення включають витрати на управління відходами та вартість обслуговування системи. Попередня обробка стічних вод необхідна для уникнення забруднення або зменшення розміру накипу на смолі для ІО та мембран для ЗО та ЕД/ІЕД. Завдяки розкладенню нітратів біологічна редукція та хімічна денітрифікація мають потенціал для більш стійкого очищення без побічних відходів, але також мають обмеження.

Вибір найбільш оптимального варіанту очищення залежить від різних ключових факторів, характерних для потреб та пріоритетів окремих систем водопостачання. Коротке порівняння основних конструктивних особливостей, переваг та недоліків різних варіантів очищення (у якості доочищення від нітратів) наведено в табл. 1.1. Важливо зазначити, що дані табл. 1.1 не є однозначними, адже не враховано інші важливі критерії, при визначенні яких відбувається остаточний вибір технологій. Такими параметрами є капітальні витрати, витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, розмір системи (потужність), концентрація забруднень та територія розташування системи. Загалом, не існує єдиного способу доочищення, який можна вважати найкращим методом видалення нітратів за всіма характеристикам якості води та для всіх систем.

Табл. 1.1. Порівняння методів доочищення стічних вод від нітратів

	Іонний обмін	Зворотній осмос	Електродіаліз	Біологічне доочищення	Хімічна денітрифікація
1	2	3	4	5	6
Тип вилучен	Концентрування забруднень у розчині	Концентрування забруднень у розчині	Концентрування забруднень у розчині	Біологічне розкладення	Хімічне розкладення
Параметри СВ, які впливають на процес	Концентрація сульфатів, заліза, марганцю, ЗР, металів. Твердість, органічна речовина	Каламутність. Концентрація заліза, марганцю, металів. Індекс щільності мулу, розмір частинок, ЗР, твердість, органічна речовина	Каламутність. Концентрація заліза, металів. марганцю, ЗР, сірководню, Твердість.	Температура, рН	Температура, рН
Потреби перед доочищенням	Пом'якшення води	Пом'якшення води	Пом'якшення води	Регулювання рівня рН, контроль концентрації забруднень та поживного середовища	Регулювання рівня рН
Потреби після	Регулювання рівня рН	Регулювання рівня рН	Регулювання рівня рН	Фільтрація	Регулювання рівня рН, видалення металу, контроль рівня аміаку
Відходи після	Відпрацьований концентрат	Відпрацьований концентрат	Відпрацьований концентрат	Біомаса	Металевий шлам, інші носії
Час запуску	Хвилини	Хвилини	Хвилини	Перший запуск: Дні - тижні Після досягнення сталого стану: Хвилини	Хвилини
Ефективність очищення	Звичайна система (97%) Модифікована система (до 99,9%)	До 85%	До 95%	Майже 100%	До 95%

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
Переваги	Простота в обслуговуванні, може видаляти додаткові забруднення	Може видаляти додаткові забруднення, опріснення	Може видаляти додаткові забруднення, більша ефективність при менших відходах, не впливає на діоксид кремнію	Без супутніх відходів (концентратів), розкладення нітратів, а не переведення у концентрат, висока ефективність очищення, може видаляти додаткові забруднення, екологічність	Без супутніх відходів (концентратів), розкладення нітратів, а не переведення у концентрат, може видаляти додаткові забруднення
Недоліки	Високі витрати на відновлення хімічних реагентів. Необхідність правильної утилізації використаних реагентів. Низький показник гідрофільності смоли.	Забруднення мембрани та утворення накипу, менший ефект очищення води, складність в обслуговуванні, енергетичні потреби, утилізація відходів	Енергозатратність, складність в обслуговуванні, потреба в утилізації відходів	Високі потреби до моніторингу показників, можлива чутливість до умов навколишнього середовища	Ризик утворення нітритів (неповна денітрифікація), відновлення до аміаку, залежність від рівня рН та температури, потреба у видаленні заліза

1.2.1 Проблеми використання методу іонного обміну для очищення стічних вод від сполук нітрогену

Іонний обмін для видалення нітратів схожий на пом'якшення води, при цьому видаляються іони нітратів, а не іони твердості. Нітрат видаляють з води шляхом витіснення його хлоридом на іонообмінній смолі. Як наслідок необхідна регенерація смоли для видалення нітрату з неї (рис 1.2). Регенерація здійснюється за допомогою висококонцентрованого сольового розчину, що призводить до витіснення нітрату хлоридом. В результаті отримують концентрований сольовий розчин з високим вмістом нітратів, який необхідно утилізувати. Найбільш істотним недоліком цього варіанту очищення є витрати

на утилізацію побічних стоків процесу очищення. Об'єм такого концентрату залежить від якості стічної води та конфігурації системи [14].

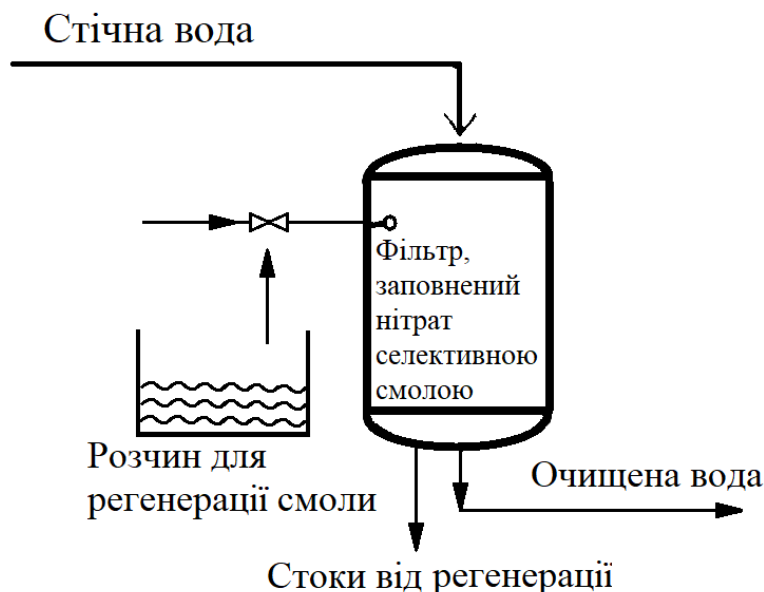


Рис. 1.2 – Схема процесу іонного обміну

Основні фактори, що впливають на вибір технології, включають такі: потребу у попередній обробці стічної води, щоб уникнути забруднення смоли; потенційну потребу в селективній до нітратів смоли; частоту заміни смоли; можливі вимоги до утилізації та поводження з відходами, що утворюються у процесі очищення. Якщо варіанти знешкодження побічного концентрату не є обмеженням, ІО може бути найкращим варіантом для стічних вод з низькими та помірними концентраціями нітратів. Застосування ІО може бути недоцільним для висококонцентрованих стічних вод через збільшення об'ємів реагентів та відходів. Сучасні дослідження альтернатив обробки супутнього концентрату можуть призвести до розвитку технологій, здатних ефективно вирішувати проблеми утилізації; однак витрати на повномасштабну реалізацію таких технологій наразі невідомі.

В останні роки з'явилися модифікації звичайного ІО, що пропонують зменшення супутнього концентрату та підвищення ефективності. Ефективність ІО систем залежить від характеристик неочищеної води [15].

Іншою перспективною альтернативою, є слабкий іонообмін. Ця нова технологія є складнішою в експлуатації, ніж звичайна, але може запропонувати подальшу переробку побічних відходів у добрива.

1.2.2 Проблеми використання методу зворотнього осмосу для очищення стічних вод від сполук нітрогену

ЗО може бути застосований як для муніципальних, так і приватних очисних споруд і може бути використаний одночасно для опріснення та видалення нітратів та багатьох супутніх забруднень. Після попередньої обробки (для запобігання забруднення та утворення накипу на мембрані) воду пропускають через напівпроникну мембрану під тиском так, щоб вода проходила крізь неї, в той час як забруднюючі речовини затримувались на мембрані (рис. 1.3). Основними факторами, що впливають на вибір технології є вимоги до попередньої обробки, компроміс між очищенням води та споживанням електроенергії, поводження з відходами та, як правило, більш високі витрати порівняно з ІО [16].

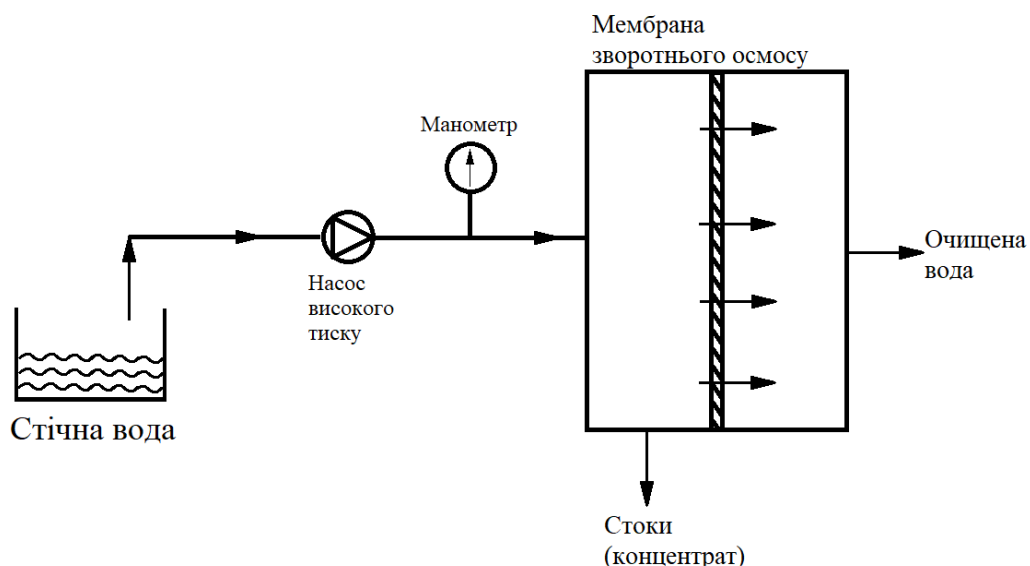


Рис. 1.3 – Схема процесу зворотнього осмосу

Одним з вирішальних факторів, що сприяє вибору ЗО порівняно з ІО для видалення нітратів, є простіша утилізація супутніх відходів. Стічні води від

процесу зворотного осмосу мають вміст нітратів в 2,5-4,0 рази більше, ніж у вхідній воді і склад, відповідний їй. Це дає можливість скидання стоків без великих капіталовкладень та трудомістких процесів. У той час у процесі ІО при оптимально організованій регенерації смоли, з мінімальним використанням реагентів в стічні води надходять видалені нітрати і реагенти, що використовувались в 1,1-2,0 рази більше від вхідної кількості. Сумарна кількість становить в 2,1-3,0 рази більше. Слід враховувати, що стоки в процесі регенерації утворюються у невеликому об'ємі, але висококонцентровані. Реагенти, як правило, мають кислу реакцію і вимагають додаткової нейтралізації. Пряме скидання таких стоків заборонено.

Нещодавні досягнення в галузі мембранних технологій та оптимізації первинної та вторинної обробки призвели до підвищення ефективності систем очищення ЗО. Наприклад, використання мембран зворотного осмосу наднизького тиску (ULPRO) дозволяє знизити енергоспоживання.

1.2.3 Проблеми використання електродіалізного методу для очищення стічних вод від сполук нітрогену

За останні роки збільшилося використання ЕД для очищення стічних вод, що дає можливість зменшити залишкові обсяги за рахунок кращого ефекту очищення, здатності вибіркового видалення іонів нітрату та мінімізації хімічних та енергетичних потреб. ЕД працює шляхом пропускання електричного струму через ряд аніонообмінних (АМ) та катіонообмінних (КМ) мембран, які захоплюють нітрати та інші іони в концентрованому потоці стічних вод [17] (рис. 1.4). Щоб звести до мінімуму забруднення і, таким чином, необхідність в додаванні хімічних реагентів, полярність системи можна змінити за допомогою інверсійного електродіалізу (ІЕД). При зміні полярності (і напрямку потоку розчину) кілька разів на годину, іони рухаються в зворотному напрямку через мембрани, мінімізуючи накопичення [18].

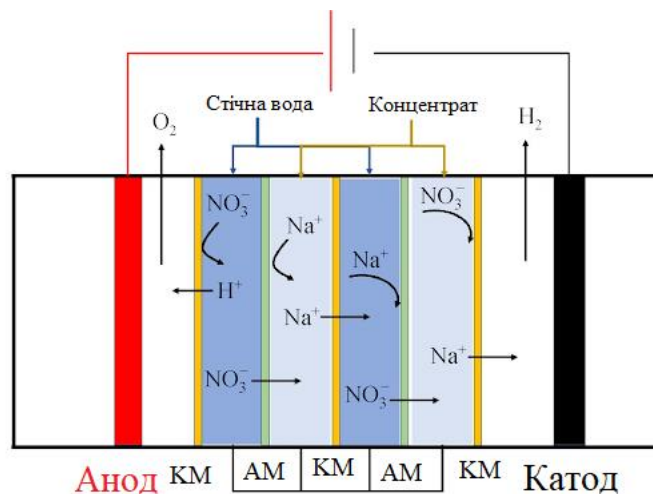


Рис. 1.4 – Схема процесу електродіалізу

Ключовими факторами, що впливають на вибір технології, є вимоги до попередньої обробки, експлуатаційна складність системи, обмеженість у кількості виробників таких систем, поводження із супутніми відходами та відсутність повномасштабних установок для видалення нітратів. Як і ЗО, ІЕД зазвичай використовують для опріснення, тож може бути варіантом для вилучення нітратів із води з високим вмістом мінеральних забруднень. Витрати на ІЕД подібні до ЗО, і дані свідчать про те, що ІЕД може бути кращим варіантом при збільшенні індексу щільності мулу (ІЩМ – це величина, обернено пропорційна муловому індексу, та характеризує концентрацію мулу у фазі мулу після 30 хв відстоювання). Для частинок дуже малого розміру для ЗО може знадобитися ретельна первинна обробка. Важливо зазначити, що процес ІЕД не фільтрує безпосередньо потік стічних вод через мембрани; забруднюючі речовини виводяться з потоку і затримуються мембранами. Це, як правило, зводить до мінімуму забруднення мембрани, зменшуючи потреби в попередній обробці порівняно із ЗО.

1.2.4 Проблеми використання методу хімічної денітрифікації для очищення стічних вод від сполук нітрогену

Для процесу хімічної денітрифікації використовують метали, щоб перетворити нітрати в інші сполуки азоту [19]. Як нова технологія, у світі мало встановлених повномасштабних систем денітрифікації для очищення стічних вод. Багато досліджень було спрямовано на використання нуль-валентного заліза для денітрифікації [20]. Також було розроблено кілька запатентованих варіантів гранульованих носіїв, у тому числі носіїв з модифікованою сіркою, гранульованих глинистих носіїв та порошкподібних металевих носіїв.

Основними факторами, що впливають на вибір технології хімічної денітрифікації є надійність та послідовність відновлення нітратів, відсутність повномасштабних установок, тип носія та залежність від температури та рН. Хімічна денітрифікація може стати потенційною повномасштабною альтернативою очищення води від нітратів із перевагою у перетворенні нітратів на інші види азоту та уникнення необхідності утилізації супутніх відходів. Однак на даний момент цей варіант є новою технологією, яка потребує додаткових пілотних та повномасштабних досліджень. Завдяки потенційним перевагам, подальші дослідження та оптимізація систем хімічної денітрифікації, швидше за все, зроблять її конкурентоспроможним варіантом у майбутньому.

Використання методу іонного обміну для видалення нітратів передбачає проходження води через шар селективних аніонообмінних смол. Іони нітратів, присутні у воді, зазвичай обмінюються на іони хлориду чи бікарбонату до виснаження шару. Потім відпрацьовану смолу необхідно регенерувати за допомогою концентрованих розчинів, наприклад, хлористого натрію. Проблеми у використанні іонного обміну пов'язані з необхідністю підтримування неперервності роботи очисної системи. Для цього потрібно паралельно встановити кілька споруд, щоб отримати безперервне очищення. Потреби в розчині для регенерації та утилізації відходів додають до експлуатації додаткових витрат. Аналогічні проблеми виникають при

використанні зворотнього осмосу, електродіалізу та хімічної нітрифікації. Ідеальним процесом очищення від нітратів повинен бути економічно вигідний (обробляти великі обсяги води за низькою вартістю). Крім того, бажано, щоб процес добре адаптувався до різних навантажень забруднень та працював без додаткових реагентів. Системи біологічного доочищення найкраще відповідають цим вимогам.

1.2.5 Проблеми використання біологічного методу для очищення стічних вод від сполук нітрогену

Системи біологічного доочищення розроблені з метою використання фізичних, хімічних та біологічних процесів, які відбуваються у природному середовищі, коли вода, рослини, мікроорганізми та атмосфера взаємодіють у системі. У такій технології очищення здійснюється без введення енергії, і тому реакції, що відповідають за очищення води, відбуваються повільніше [21]. З цієї причини тривалість очищення в таких системах може бути навіть у 100 разів більше, ніж у вищезгаданих технологіях, оснований на фізико-хімічних методах. Саме тому вони вимагають більшої площі земель для обробки однакового об'єму води, ніж фізико-хімічні технології.

Основними особливостями біологічного доочищення є такі:

- надійність - такі системи дуже надійні в екстремальних умовах експлуатації;
- біологічні системи очищення можуть обробляти стічні води різного походження, і вони працюють в широкому діапазоні погодних умов;
- екологічні переваги: естетичність та захист диких тварин;
- простота конструкції установок: технічне обслуговування може проводити низькокваліфікований персонал, можливість автоматизації;
- низькі витрати на експлуатацію та обслуговування.

1.2.6.1 Класифікація систем біологічного доочищення стічних вод

Біологічні системи доочищення стічних вод умовно можна поділити на поверхневі та глибинні (рис. 1.5). У свою чергу, поверхнєве доочищення можна класифікувати за типом ВВР, що переважають у системі: ВВР, які вільно плавають на поверхні води; ВВР, які вільно плавають у товщі води; укорінені ВВР, а глибинне – за типом потоку стічних вод: горизонтальне та вертикальне [22].

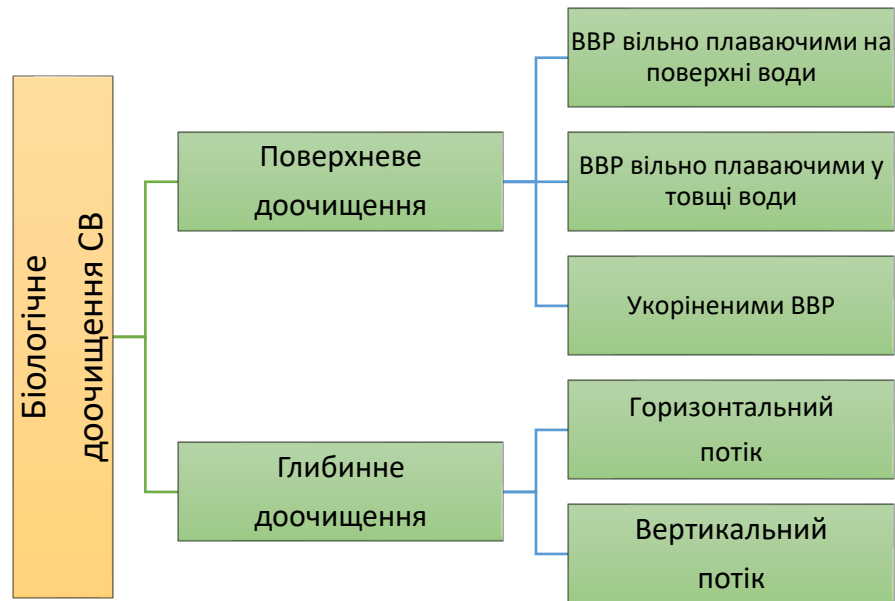


Рис. 1.5 – Класифікація технологій біологічного доочищення

Природні системи очищення стічних вод - прості, економічно вигідні та ефективно вилучають забруднення із стічних вод. Процеси, що беруть участь у виведенні та утримуванні сполук азоту під час очищення стічних вод, включають випаровування NH_4^+ , нітрифікацію, денітрифікацію, азотфіксацію, поглинання рослинами та мікробами, мінералізацію (амоніацію), відновлення нітратів до амонію (амоніфікація нітратів), анаеробне окиснення амонію (ANAMMOX), фрагментацію, сорбцію, десорбцію, захоронення та вилуговування [23, 24].

Однак лише деякі процеси здатні видалити загальний азот із стічних вод, тоді як більшість процесів просто перетворює азот у різні його форми (рис. 1.6).

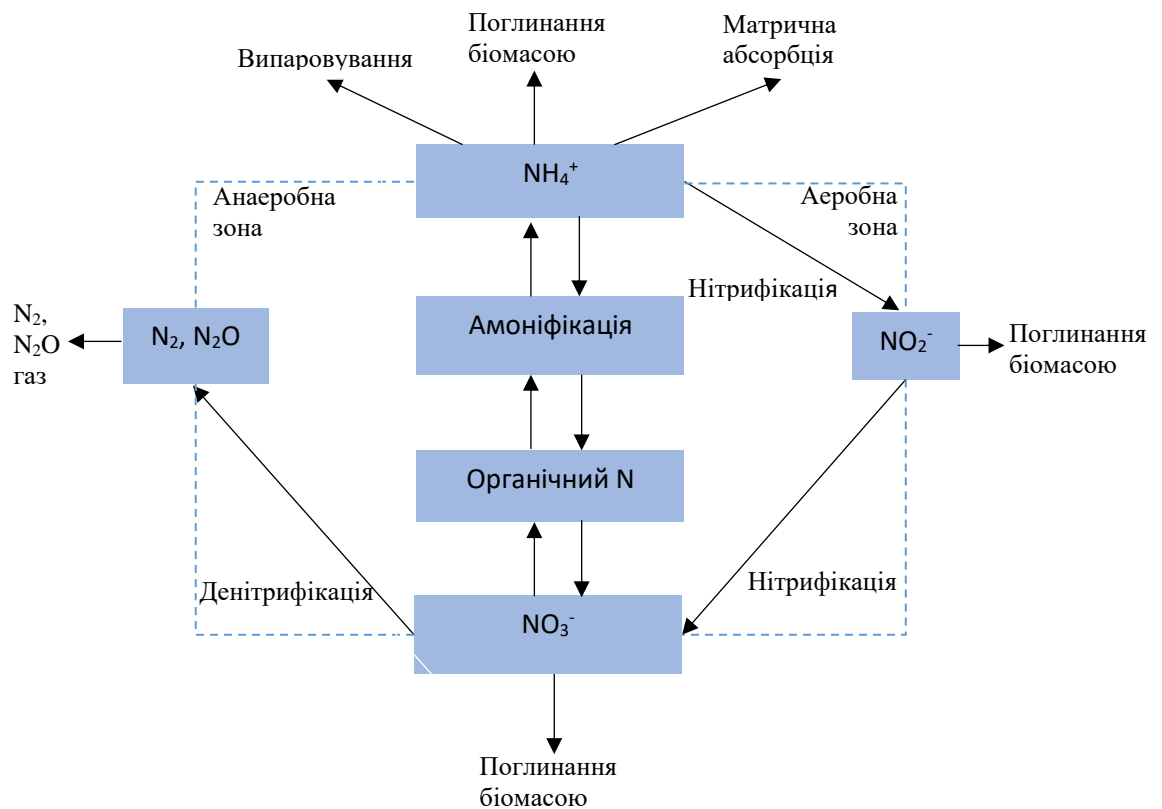


Рис. 1.6 – Процеси перетворення сполук нітрогену

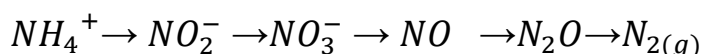
1.2.6.2 Системи біологічного очищення стічних вод з використанням плаваючих ВВР

В таких системах використовують рослини, що мають плаваючий тип, наприклад *Eichhornia crassipes* [25], *Lemna minor* [26], *Lemna gibba* [27], *Spirodella punctate* [5]. Глибина води для таких систем становить від 0,5 до 1,8 м. Плаваючі рослини забезпечують поверхню для прикріплення плівок бактерій, переносять кисень у товщу води, захищають воду від сонячного світла і зменшують ріст водоростей.

Системи подібного типу ефективні у зниженні БСК, концентрацій сполук азоту, металів і патогенних мікроорганізмів в стічних водах [28]. Додаткова аерація застосовується у таких системах для підвищення здатності до очищення та підтримання аеробних умов.

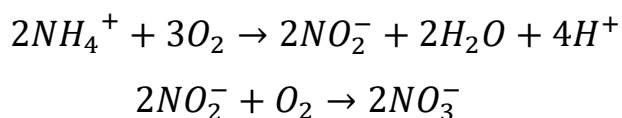
1.2.6.3 Механізм вилучення сполук нітрогену із стічних вод

Майже половина азоту, що міститься у господарсько-побутових стічних водах, присутня у формі аміаку та органічного азоту. У біологічних системах доочищення основним механізмом видалення є мікробний процес, який складається з нітрифікації з подальшою денітрифікацією. Однак після нітрифікації може слідувати процес поглинання рослинами. У водних об'єктах цикл нітрогену поєднується з циклом вуглецю, головним чином, через процес денітрифікації. Нижче ці три процеси детально описані.



Нітрифікація

Нітрифікація - це головний механізм трансформації, який знижує концентрацію NH_4^+-N у воді. У присутності розчиненого кисню мікроорганізми у товщі води або у біоплівці можуть перетворити аміак у нітрит та нітратний азот у два етапи. Окиснення аміаку здійснюється автотрофними бактеріями в аеробних умовах, де аміак виступає у якості донора, а кисень - акцептора електронів. Процес нітрифікації потребує 4,6 г O_2 на 1 г амонійного азоту для окиснення його до нітратів.

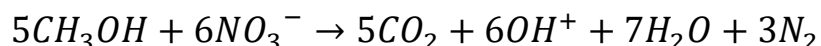


Нітрати не іммобілізуються ґрунтовими відкладеннями та залишаються у товщі води чи у придонному шарі. Вони можуть поглинатися рослинами або мікроорганізмами при асиміляційному відновленні нітратів (перетворюються на біомасу за допомогою амонію), або можуть споживатися гетеротрофними бактеріями і перетворюватися на газоподібний азот (денітрифікація).

Присутність важких металів у товщі води може повністю гальмувати процес. Оптимальний діапазон рН для процесу нітрифікації становить від 7,2 до 9 [29, 30].

Денітрифікація

Денітрифікація або відновлення нітратів здійснюється гетеротрофними бактеріями у безкисневих умовах, органічний вуглець виступає донором, а нітрат - кінцевим акцептором електронів [31]. Реакція відбувається за відсутності кисню і потребує джерела органічного вуглецю; мінімальна кількість вуглецю для нітрату становить близько 1г С / г NO₃⁻. Продуктами реакції будуть газу N₂ та N₂O, які вивільняються у атмосферу.



Процес залежить від температури та рН [31]. Значення рН нижче 5 і концентрація кисню вище 0,3-1 мг/л у товщі води можуть повністю інгібувати реакцію.

Поглинання рослинами (асиміляція)

Рослини, що використовуються у системах біологічного очищення, можуть видаляти азот шляхом засвоєння аміаку або нітратів як важливу частину їх метаболізму і перетворювати його на біомасу. Вони можуть відновлювати неорганічні форми азоту до органічних форм, які використовуються для структури рослин. Протягом вегетаційного періоду спостерігається висока швидкість засвоєння азоту напівзануреною та зануреною рослинністю з товщі води та відкладень [32]. Тим не менш, під час старіння азот виділяється у товщу води, тому рекомендується збирати рослини до старіння.

У системах біологічного очищення, кожен із згаданих раніше механізмів, вилучення сполук нітрогену із стічних вод відбувається в різних зонах. Нітрифікація вимагає розчиненого кисню та тому обмежується ділянками, де є кисень. Цей процес відбувається поблизу кореневої системи рослин [33], де можливе вивільнення кисню, а також у товщі води біля поверхні (на вільних від рослинності ділянках). Важливим фактором при розміщенні системи біологічного очищення для нітрифікації є органічне та

азотисте навантаження, оскільки нітрифікація не почнеться, поки більшість органічних сполук не буде видалено [30].

Використання сімейства ряскових забезпечує біоаккумуляцію забруднюючих речовин при доочищенні стічних вод, після чого рослини збирають як врожай. Ряска особливо підходить для цієї мети, оскільки вона є поширеною для більшості країн світу, включаючи Україну, і здатна швидко вилучати хімічні сполуки з водного середовища. У результаті природного розвитку цих рослин утворилися штами, які можуть рости протягом року в умовах відкритих систем. Крім того, ці рослини мають стійкість до шкідників, якої не вистачає іншим культурам. Природна стійкість до шкідників забезпечує зменшення використання пестицидів та гербіцидів.

1.3. Аналіз умов вирощування та ефектів вилучення забруднюючих речовин ВВР роду *Lemnaceae* із стічних вод

1.3.1 Морфологія ВВР родини *Lemnaceae*

Ряска - це невеликі зелені плаваючі вищі водні рослини родини *Lemnaceae*. Родина *Lemnaceae* складається з чотирьох родів: *Lemna*, *Spirodella*, *Wolffia* та *Wolffiella* [34, 35]. У всьому світі визначено близько сорока видів [35, 26]. Ряска росте при температурі води від 5 до 35 °C при оптимальному рості між 20 і 31 °C залежно від виду [30]. Ряска виживає при значеннях рН від 5 до 9, але найкраще росте у діапазоні рН 6,5 - 7,5. При вирощуванні в багатих на біогенні сполуки водах вміст білка в рослині коливається в межах від 35 до 45%. Вміст клітковини становить від 10 до 15% [36]. На рис. 1.7 зображено вищі водні рослини *Lemna minor*.

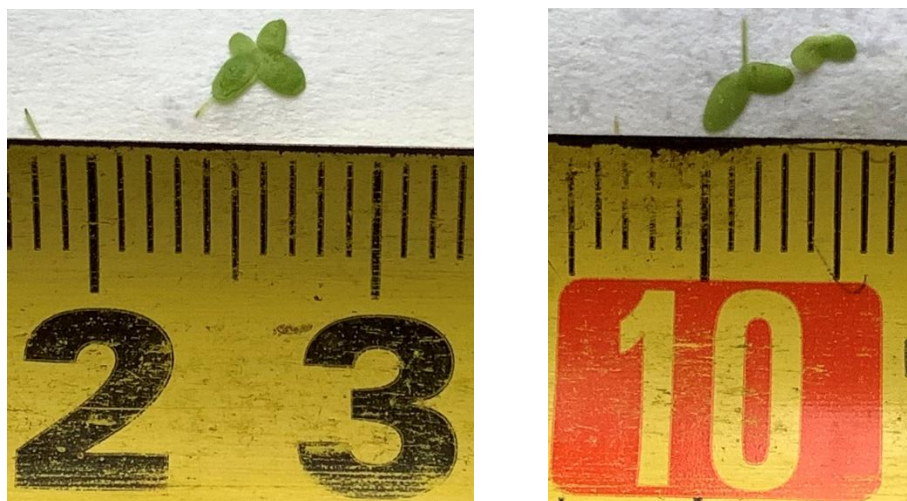


Рис. 1.7 – Зовнішній вигляд ряски *Lemna minor*

Вміст білків і клітковини роблять ряску економічно вигідною для переробки в якості добрив та кормів для тварин [27]. Ріст ряски, як правило, лімітується температурою та сонячним світлом більше, ніж концентрацією забруднюючих речовин у воді. Вологість свіжої ряски становить від 94 до 95% [37].

Як було зазначено вище, надмірне скидання забруднюючих речовин у природні водойми призводить до процесів евтрофікації в них, тому перед відведенням стічних вод у річки потрібно здійснювати належне їх очищення. Було помічено ріст ряскових у спорудах доочищення стічних вод. Гідравлічні умови та інші фактори (тривалість, початкові концентрації забруднюючих речовин, щільність ряски, температура та рН) можуть сприяти росту ряски та додатковому видаленню забруднень, тому саме такі дослідження необхідні для оптимізації та можливості управління процесами. Ряска має великий потенціал до поглинання забруднюючих речовин, і тому це робить можливим її використання для очищення стічних вод ефективним, дешевим і простим способом.

Ряска вже більше десятиліття використовується для доочищення господарсько-побутових та промислових стічних вод [5]. Але роль ряски у виведенні органічного матеріалу стала предметом суперечок. Розглядався вплив на вилучення за рахунок забезпечення поверхні для іммобілізації

бактерій та зміни фізико-хімічних характеристик середовища у воді (температури, рН), а також можливість безпосереднього видалення простих органічних сполук гетеротрофними організмами [38]. Аміак можна видалити шляхом поглинання ряскою, нітрифікацією і денітрифікацією (при рН вище 8) та засвоєнням іншими гідробіонтами [39].

Ряскові - однодольні плаваючі рослини, є найменшими і найпростішими квітучими рослинами у світі [40]. Кожна рослина складається з трохи більше двох, слабо диференційованих листочків, поєднання листя і стебла. Тканина складається переважно з хлоренхіматозних клітин, розділених великим міжклітинним простором, що забезпечує плавучість. Верхній епідерміс вкритий кутином, проникний для води. У *Lemna* та *Spirodella* коріння, як вважають, є адвентивними та складають лише невелику частку загальної маси рослин та не мають кореневих волосків. У двох інших родів немає коренів. Важливою особливістю їх будови є майже повна відсутність деревної тканини. На рис. 1.8 зображено при збільшенні у 40 разів (а – листя; б – коріння) рослини *Lemna minor*.

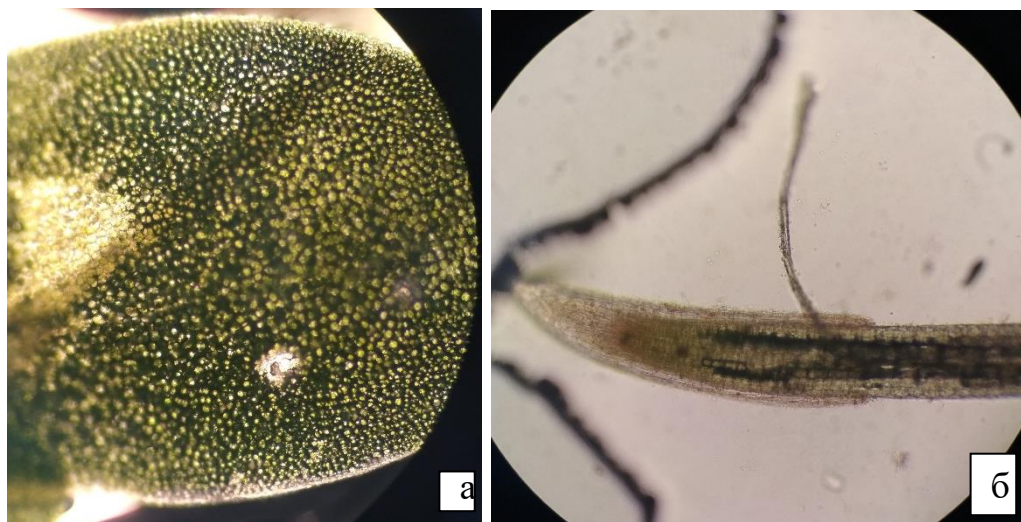


Рис. 1.8—*Lemna minor* при збільшенні у 40 разів:

а – листя; б – коріння

Члени родини *Lemnaceae* зустрічаються майже у всьому світі, вони відсутні лише в Полярних регіонах та пустелях. Поширення видів не

рівномірне у Америці, там зареєстровано понад 60% видів, а в Австралії та Європі - менше 30% від загальної кількості.

Вимоги до середовища існування ряски різняться залежно від виду, але всі потребують стоячу, майже нерухому воду для вирощування. Глибина рослинного шару є лімітуючим показником росту. Яскравою особливістю ряскових видів є їх величезна репродуктивна здатність. За сприятливих умов вони здатні на подвоєння своєї біомаси кожні 16 - 48 годин [2]. Основна форма розмноження – вегетативна [35], завдяки виробництву "дочірніх" листків, що виникають з одного із двох бічних мішечків біля основи стебла. Хоча вегетативний ріст звичайний, дочірні гілки ряски не залишаються прикріпленими назавжди, а швидше руйнуються та утворюють нові колонії, вік яких - лише кілька поколінь.

1.3.2 Умови вирощування рослини родини *Lemnaceae*

Ріст *Lemnaceae* може бути майже експоненціальним, якщо запаси вуглекислого газу, світла та поживних речовин достатні. Зазвичай кальцій і сірка не лімітують ріст [41], тоді як азот і фосфор сильно впливають на ріст.

Lemnaceae здатні поглинати азот у формі амонію, нітратів, нітритів, сечовини та деяких амінокислот, однак перші дві є основним джерелом азоту для більшості видів. Мінімальні, оптимальні та токсичні рівні азоту сильно різняться між видами та географічними умовами, і, як вважається, підвищення інтенсивності світла підвищує оптимальні потреби в азоті для росту. Мінімальна потреба варіюється у межах 0,0016 мМ/л до 0,08 мМ/л, а максимальна - 30 мМ/л до 450 мМ/л. Оптимальна зареєстрована потреба в азоті коливається від 0,01 мМ/л до 30 мМ/л [42].

Потреба ряски у фосфорі є різною (0,003-1,75 мМ / л) між видами, як потреба в азоті, але вони не пов'язані [41]. Ряска має здатність накопичувати до 1,5% своєї ваги у вигляді фосфору у водах, багатих на забруднюючі речовини [42]. Між видами є відмінність у потребі калію, що також може змінюватись в залежності від інтенсивності світла.

pH води має велике значення на ріст ряски, впливаючи на поглинання поживних речовин, особливо нітратів [35]. Оптимальні і граничні значення для росту різняться як між видами, так і між географічними умовами. Оптимальний ріст відбувається у близьких до нейтрального pH як для видів *Spirodella*, так і для *Lemna*, і близько pH 5 для *Wolffia*. Нижня межа pH для росту у більшості видів знаходиться у межах pH 4,5-5. Верхня межа pH може бути до 10,5 [41], а присутність хелатуючих агентів має великий вплив на діапазон pH, при якому ці рослини будуть рости.

Швидкість росту ряски є результатом багатьох температурних залежностей та взаємопов'язаних реакцій, при яких фотосинтез та дихання не мають однакових температурних кривих. Однак для більшості видів оптимальна температура росту складає від 20 °C до 30 °C [43]. Ефективність світла підсилюється підвищенням температури у діапазоні від 12 °C до 30 °C, і більшість видів збільшують ріст при 9000 люкс (при 24 °C) [30, 43].

1.3.3 Фактори, які впливають на вилучення біогенних сполук із стічних вод ВВР родини *Lemnaceae*

Опубліковано велику кількість літератури про фактичні та потенційні врожаї ряски. Існує багато факторів, що впливають на ріст, зокрема, азот, хоча він є важливим макроелементом, але у високих концентраціях – токсичний [46].

Було продемонстровано, що більш низький показник pH 6 – 7 збільшує токсичну дію азоту - це пояснюється тим, що за такого pH обмежується іонізація аміаку, що призводить до зниження аміаку в розчині [47].

На практиці глибина води, необхідної для вирощування ряски, визначатиметься метою, для якої вона вирощується, а також існуючими умовами. Споруди глибиною менше 0,5 м можуть зазнавати великих коливань добової температури. Чим більша глибина, тим менша ймовірність, що рослини матимуть повний доступ до поживних речовин у товщі води.

Нещодавно було встановлено, що площа поверхні покриття і глибина впливають на видалення азоту у споруді з ряскою [35, 47].

Здатність ряски до видалення сполук азоту та фосфору, при цьому «зменшуючи» забруднення води, широко обговорюється в літературі майже 30 років. Системи, що використовують різні види ряски, окремо або в поєднанні з іншими рослинами, використовувались для очищення та доочищення стоків у США, на Близькому Сході та індійському субконтиненті.

Незважаючи на такий потенціал, деякі види та ізоляти (популяція або група популяцій, які не мають вільного обміну генами з іншими популяціями свого виду через географічну віддаленість) досить чутливі до високого рівня азоту та/або фосфору [35] і стічних вод з високим рівнем біологічного споживання кисню (БСК), такі як відходи забійних цехів, можуть знищити рослини. Хоча ряска має схильність до поглинання великої кількості розчиненого азоту, але ступінь поглинання залежить від концентрації азоту, тривалості очищення, виду та (принаймні, в помірних зонах) сезону [45]. Також є вагомі докази того, що між ряскою та бактеріями існує симбіотичний або, принаймні, синергетичний зв'язок, як по відношенню до фіксації азоту, так і у пониженні значення ХСК води [44].

Відмінності в методології, масштабі та параметрах ускладнюють пряме порівняння між багатьма випробуваннями, про які повідомляється в літературі. Однак більшість досліджень свідчить, що ряска видаляє 40-60% азоту в розчині протягом 24–48 годин.

Аналогічним чином, *lemnaceae*, як правило, здатні поглинати від 30 до 50% розчиненого фосфору. Поглинання фосфору (по значенням тканинного фосфору) та сирого білку лінійно зростає при збільшенні концентрації забруднюючих речовин, приблизно до 1,5 г Р/л, і збільшується в абсолютних показниках до 2,1 г Р/л [35]. Це було зафіксовано разом із пропорційним підвищенням концентрації азоту, тому зв'язок між концентраціями азоту та фосфору був неясним.

В якійсь мірі середовище ряски є дещо двовимірним. На практиці це означає, що коли поверхня водойми повністю покрита, рослина обмежує подальші можливості для росту. Таким чином, у ситуаціях, коли на очищення надходить велика кількість забруднених стічних вод, процес буде обмежений швидкістю збору надлишкової ряски.

1.3.4 Утилізація рослини родини *Lemnaceae* після біологічного доочищення

Для родини *Lemnaceae* зареєстрована енергетична цінність значно варіюється між видами, коливаючись від 9,6 до 17,6 МДж / кг сухої речовини [42], що вказує на середній/високий рівень енергетичної цінності (на основі сухої речовини). Вміст білку та амінокислот різняться, залежно від поживного середовища, видів і ізолятів. Інтенсивність освітлення і температура впливають на швидкість росту, а отже, вуглеводний обмін і склад. Більшість незамінних амінокислот доступні у великій кількості, крім триптофану і метіоніну, які присутні у невеликій, але мінливій кількості (від 0,3 до 3% від загального білку). Роди *Spirodella* та *Lemna* містять велику кількість щавлевої кислоти [42].

Дослідження якості білку ряду вищих водних рослин виявило, що білок, видобутий з *L. minor*, збільшує апетит та призводить до збільшення ваги у щурів, які були на раціоні з високим вмістом пшеничного борошна. Дослідження також вказують на наявний вміст фенолу 2,1% у екстракті білку ряски [2]. При використанні білків рослинної біомаси було виявлено, що *L. minor* добре сприймається щурами, коли їх вміст становив 25% від загального раціону. Ряска дала найкращий приріст у масі серед досліджуваних рослин, хоча менше, ніж контрольна дієта (12,2 г/день проти 15,2 г/день). Однак, при збільшенні до 50% від раціону апетит зменшився, хоча тварини продовжували набирати вагу, хоча і з меншою швидкістю (10,8 г/добу) [48].

Маючи у своєму складі високий вміст білку і досить повний спектр амінокислот, ряска може замінити дороговартісний корм та соєві боби у раціоні для аквакультури риби.

Також повідомлялося, що заміщення *L. minor* на 40–100% у раціоні замість борошна соєвих бобів та сумішей вітамінів для качок забезпечувало всі показники кількісних та якісних характеристик м'яса.

1.3.5 Потенційні можливості та обмеження рослин родини *Legnaseae* при використанні для очищення стічних вод

Здатність *legnaseae* вибірково поглинати сполуки азоту та фосфору і концентрувати їх у своїх тканинах не обмежується цими макроелементами. Темпи накопичення важких металів помітно відрізняються між видами, як і залежність між концентрацією (у воді) і поглинанням. [43]. *L. minor* була досліджена на предмет здатності поглинати важкі метали, і було встановлено, що вона є ефективним акумулятором кадмію, а також селену, цинку та міді [50, 51].

Здатність концентрувати мікроелементи дає рясці потенціал для використання в біоремедіації на ділянках шахт та інших забруднених територіях. З іншого боку, після такого використання для подальшого застосування в процесі вирощування тварин, слід уважно ставитись до аналізу кормів та відбору проб тварин, щоб запобігти накопичення токсичних рівнів важких металів в організмі.

Ряска при зборі містить від 92% до 96% води [26]. Висушування, особливо до рівня збереження складу та структури, є дороговартісним процесом з точки зору праці та/або енергії. Незважаючи, що це питання може бути вирішене, найкращим варіантом є її використання без змін (вологою). Деякі види ряскових успішно використовують у вирощуванні великої кількості риби, водоплавних птахів, великої рогатої худоби та овець [49].

Деякі види ряскових демонструють сезонні закономірності росту, які ґрунтуються на коливаннях температури, інтенсивності світла та тривалості

сонячного випромінювання (денний час) [43]. Нездатність систем забезпечувати постійні умови вирощування може стати головною перешкодою для впровадження такої технології у сезонних районах. У такому випадку, найбільш прийнятним варіантом може бути вибір для технологічного процесу очищення таких видів, які залишаються метаболічно активними при низьких температурах.

Висновки до розділу

1) Видалення сполук нітрогену у процесі очищення стічних вод є важливим процесом. Це пов'язано з тим, що неочищені стічні води містять велику кількість органічного азоту та аміаку. Ці сполуки складають більшу частину загального азоту, що надходять у водойми при скиді стічних вод, та викликають посилений ріст ціанобактерій та водних макрофітів, що призводить до зниження концентрації кисню, загибелі та розкладання водної флори та фауни.

2) У процесі іонного обміну видаляються нітрати із стічних вод, але утворюються під час регенерації іонообмінної смоли додаткові відходи, які повинні бути знешкоджені. Зворотний осмос є альтернативою вищезазначеному методу очищення, і його перевага полягає у здатності відокремлювати і концентрувати сполуки, що містяться у воді, не змінюючи їх молекулярну структуру. Однак корисність цих процесів обмежена, оскільки вони є відносно дорогавартісними і просто витісняють нітрати в концентрований розчин, який необхідно в подальшому утилізувати. Таким чином, існує значна зацікавленість у розробці альтернативних методів очищення стічних вод від сполук нітратів. Таким процесом є біологічне доочищення стічних вод. Біологічні системи доочищення стічних вод - прості, економічно вигідні та дозволяють ефективно вилучати забруднення із стічних вод. У таких системах використовують вищі водні рослини, що здатні до біоаккумуляції забруднюючих речовин.

3) У країнах, що розвиваються, де економіка нестабільна, але робоча сила у надлишку та відносно дешева, трудомісткі схеми очищення є економічно та соціально більш вигідними. Отже, біологічні системи для доочищення СВ є реальними для втілення. Для України реалізація таких систем можлива адже є усі відповідні ресурси, у тому числі великі площі землі.

4) Родина *Letnaseae* - це унікальна група рослин, що володіють багатьма особливостями і мають великий біологічний потенціал. Як група, вони мають надзвичайно малу кількість структурних тканин та тип розмноження, що дозволяє їм збільшувати свою біомасу набагато швидше, ніж будь-які інші макрофіти. Ряска росте при температурі води від 5 до 35 °C при оптимальному рості між 20 і 31 °C залежно від виду. Ряска виживає при значеннях рН від 5 до 9, але найкраще росте у діапазоні рН 6,5 - 7,5.

5) Ряска здатна накопичувати значну кількість макроелементів, і дійсно її швидкість росту сильно залежить від концентрацій цих елементів, а також від режиму рН, світла та температури. Оптимальна зареєстрована потреба в азоті коливається від 0,01 мМ/л до 30 мМ/л. Потреба ряски у фосфорі є різною (0,003-1,75 мМ/л).

6) Різні види широко використовують для доочищення стічних вод в очисних спорудах, хоча ступінь їх участі у процесах досконало не вивчено. Однак зрозуміло, що ряска, яка знаходиться у комфортних для неї умовах, ефективно пригнічує ріст водоростей, і її здатність до поглинання сполук нітрогену та фосфору була продемонстрована у ряді робіт. Щоб бути корисними у сучасних очисних системах, потрібно вести роботу як для визначення, так і вдосконалення їх властивостей. Необхідно провести систематичне дослідження характеристик росту, кількісних та якісних можливостей культури для встановлення економічної цінності при застосуванні її у системах очищення стічних вод. Отже дослідження, яке проводиться має на меті встановити ефективність вилучення сполук нітрогену із стічних вод з використанням для їх доочищення ряскових.

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Неконтрольоване скидання неочищених стічних вод у водойми, як зазначалось у минулому розділі, спричинює посилення росту водоростей, в результаті чого відбувається евтрофікація, яка призводить до зниження росту водних рослин та тварин, появи та посилення запаху води, піноутворення, зміни кольору, зменшення розчинності кисню, зміни температури. Сполуки нітрогену, потрапляючи у надмірних кількостях у водойми, підсилюють евтрофікацію. Саме тому необхідно вести роботи по вивченню та удосконаленню технологій доочищення стічних вод.

Відповідно до норм [52], значення ГДК нітратвмісних сполук для скиду у поверхневі води складає 40 г/м³. Таке значення можна забезпечити переліченими у попередньому розділі (п. 1.2) технологіями. Після аналізу економічних, екологічних аспектів та показників ефективності було обрано технологію біологічного доочищення стічних вод від нітратів з використанням плаваючих вищих водних рослин виду *Lemna minor*.

Виконання досліджень передбачає проведення таких видів робіт

Підготовчі роботи:

- підготовка поживного середовища (маточні розчини) та перенесання *Lemna minor* у біореактор;
- підготовка модельних розчинів з вмістом іонів NO₃⁻ для дослідів;
- підготовка розчинів для калібрувального графіка та його побудова для визначення концентрації NO₃⁻.

Основні роботи:

- виконання дослідів.

2.1 Методика виконання підготовчих робіт

2.1.1 Методика підготовки поживного середовища (маточні розчини) та перенесання *Lemna minor* у біореактор

Створення умов для тимчасового зберігання досліджуваної рослини передбачається для мінімізації похибки та зрівнювання умов дослідження. Для кожного досліду відбиралася необхідна кількість ряски з фітобіореактора, щоденно проводився візуальний огляд.

Поживне середовище готуємо, відповідно до пункту С.4 Додатку С [53], зі заміною маточного розчину №3. У табл. 2.1-2.3 наведено необхідні концентрації та відповідна вага реактивів, які були використані для поживного середовища *Lemna minor* (для утримання на період дослідження)

Табл. 2.1 – Середовище для тимчасового утримання *Lemna minor*

Речовина		Поживне середовище	
Сполуки	Молярна вага	мг/л	ммоль/л
KNO ₃	101,12	350,00	3,46
CaCl	75,53	94,41	1,25
KH ₂ PO ₄	136,09	90,00	0,66
K ₂ HPO ₄	174,18	12,60	0,072
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246,37	100,00	0,41
H ₃ BO ₃	61,83	120,00	1,94
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287,43	180,00	0,63
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	241,92	44,00	0,18
MnCl ₂ ·4H ₂ O	197,84	180,00	0,91
FeCl ₃ ·6H ₂ O	270,21	760,00	2,81
ЕДТА дигідрат	372,24	1500,00	4,03

Маточні розчини №2 і №3 можуть бути об'єднані, так само і №4-№7 (враховуючи необхідні концентрації).

Для приготування поживного середовища у кінцевих концентраціях додали по 20 мл розчинів №1-№3 (табл. 2.2) приблизно до 900 мл

дистильованої води, для уникнення утворення осаду. Потім додали по 1,0 мл розчинів №4-№8 (табл. 2.3). Для встановлення рН $5,5 \pm 0,2$ додали мінімальну кількість NaOH. Довели об'єм до 1000 мл.

Табл. 2.2 – Маточні розчини (макроелементи)

Макроелементи (сконцентровані в 50 раз)	г/л
Маточний розчин 1	
KNO_3	17,50
KH_2PO_4	4,5
K_2HPO_4	0,63
Маточний розчин 2	
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	5,00
Маточний розчин 3	
$CaCl$	4,72

Табл. 2.3 - Маточні розчини (мікроелементи)

Мікроелементи (сконцентровані в 1000 раз)	мг/л
Маточний розчин 4	
H_3BO_3	120,0
Маточний розчин 5	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	180,0
Маточний розчин 6	
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	44,0
Маточний розчин 7	
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	180,0
Маточний розчин 8	
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	760,00
EDTA дигідрат	1500,00

Приготоване середовище об'ємом 2 літри перенесли у скляну посудину діаметром 30 см та перенесли біомасу ряски так, щоб вона покрила всю

поверхню. Було встановлено аератор (компресор AIR-500) на мінімальну потужність для унеможливлення утворення біоплівки та штучне освітлення (фітолампа FLUORA для рослин L 15W/77 G13 OSRAM) з періодом роботи 12 годин (з 06:00 до 18:00). Температура на час утримання за весь період була не менше 20° С. На рис. 2.1 представлені фотографії фітобіореактора для утримання на час дослідження ВВР *Lemna minor*.



Рис. 2.1 – Фото фітобіореактора з вищими водними рослинами *Lemna minor* для тимчасового зберігання

2.1.2 Підготовка модельних розчинів з вмістом іонів NO_3^- для дослідів

Для дослідження ефективності вилучення сполук нітратів ВВР *Lemna minor* було приготовано модельний розчин. Для цього на лабораторних вагах Scout Pro було зроблено наважку нітрату калію 0,1631 г, висушеного при 105 °С. Після чого приготовану наважку розчинили у заздалегідь підготованій водопровідній воді та довели до 1л. Підготовка води включала в себе відстоювання протягом 24 годин у відкритій пластиковій пляшці об'ємом 5л.

Так як водопровідна вода містить початкову концентрацію нітратів (9 мг/л, що було визначено у ході дослідів), то 1л модельного розчину містить 0,109 мг NO_3^- . Наступним етапом було приготування ряду модельних розчинів з різними концентраціями. Для цього з приготованого на попередньому етапі розчину було взято 2,5; 5; 10; 15 мл, переміщено у мірні колби та доведено до

250 мл попередньо підготованою водопровідною водою. Розрахункова концентрація модельних розчинів складає, відповідно, 18,9; 28,8; 48,6; 68,4 мг NO_3^- на літр .

2.1.3 Підготовка розчинів для градувального графіка та його побудова для визначення концентрації NO_3^-

Нітрат калію, основний розчин приготували розчиненням 0,1631 г KNO_3 , висушеного при 105 °С, в дистильованій воді, додали 1 мл хлороформу і довели водою до 1 дм³. В 1 см³ розчину міститься 0,1 мг нітрат-іонів.

Робочий розчин KNO_3 отримали розбавленням 10 см³ основного розчину до 100 см³ дистильованою водою. В 1 см³ розчину міститься 0,01 мг нітрат-іонів.

Також для виконання градувального графіку необхідно приготувати розчин саліцилової кислоти та гідроксиду натрію із сегнетовою сіллю. Розчин саліцилової кислоти приготували розведенням 1 г саліцилової кислоти у 100 см³ етилового спирту.

Розчин гідроксиду натрію та сегнетової солі приготували розчиненням 400г NaOH і 60 г сегнетової солі у малому об'ємі дистильованої води, і після охолодження до кімнатної температури об'єм довели до 1 л.

Зроблені на етапі виконання градувального графіку реагенти будуть використовуватись при подальших визначеннях концентрацій нітратів у досліджуваних пробах.

Приготування та побудову градувального графіку зробили наступним чином.

Приготували серію з 6-ти розчинів для градування з концентрацією фосфат-іонів 0; 0,5; 1; 2; 5; 10 мг/дм³, для чого послідовно відібрали 0; 0,5; 1; 2; 5; 10 мл робочого розчину нітрату калію у мірні колби та довели до 10 см³.

До 10 см³ (з метою усунення заважаючого впливу речовин) додали 2 см³ саліцилової кислоти і випарювали у порцеляновій чашці на водяній бані насухо. Після охолодження сухий залишок перемішали з 2 см³ сірчаної

кислоти і залишили на 10 хвилин. Потім вміст чашки розвели 10–15 см³ дистильованої води, додали 15 см³ розчину NaOH і сегнетової солі. Після чого перенесли кількісно в мірну колбу місткістю 50 см³, обмиваючи стінки чашки дистильованою водою.

Після зниження температури до кімнатної вміст довели дистильованою водою до позначки. Отриманий кольоровий розчин відразу фотометрували при $\lambda = 410$ нм у кюветах з товщиною шару 2 см проти дистильованої води. Значення поглинання холостого розчину віднімали від значення поглинання проби.

Отримані значення проаналізували за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel та побудували графік залежності вимірної оптичної густини від концентрації розчинів. Після чого на графіку провели лінію тренду з виведенням рівняння.

2.2 Методика виконання основних робіт

2.2.1 Методика дослідження впливу тривалості очищення на ефективність видалення нітратів при різних початкових концентраціях NO₃⁻

Для досліду було взято попередньо приготовані розчини (п. 2.2) та лунки, що моделювали споруди, у яких відбувається доочищення стічних вод. Лунки виготовлені з пластику, їх розміри - довжина x ширина x висота складають 48x2,5x1,6 см. Модельні ставки на час досліду розміщували під штучним освітленням (фітолампа FLUORA для рослин L 15W/77 G13 OSRAM) з періодом роботи 12 годин (з 06:00 до 18:00).

Початок кожної серії дослідів складався з перенесення у кожну лунку по 150 мл модельного розчину відповідної концентрації та контрольного розчину (підготована водопровідна вода). Після чого додавали зважену на вагах ряску $m_p=3,75$ г. Перед зважуванням рослини *Lemna minor* відбирали з поверхні фітобіореактора за допомогою сачка. Для більш точного зважування, дали надлишковій воді стекти 1-2 хв. Після чого сачок з ряскою розмістили на

серветці та почекали, поки волога поглинеться. На рис. 2.2 зображено умови виконання дослідів.



Рис. 2.2 – Фото модельних споруд для визначення ефекту вилучення NO_3^- BVP *Lemna minor*

Досліджувана тривалість процесу очищення складала 8, 24, 48, 72 год. Кожного дня проводили візуальний огляд лунок. Усі дослідів проводили за однакових умов. Після закінчення процесу очищення з кожної лунки обережно, щоб не захопити самі рослини, відбирали за допомогою піпетки по 10 мл досліджуваних розчинів та переносили у порцелянові чашки. Далі процес визначення вмісту іонів NO_3^- виконували аналогічно до п.2.1.3.

Отримані значення проаналізували за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel та побудували графік залежності виміряної оптичної густини від концентрації розчинів. Після чого на графіку провели лінію тренду з виведенням рівняння.

2.2.2 Методика дослідження впливу площі поверхні модельних споруд та співвідношення шару BVP *Lemna minor* до шару води на процес доочищення.

Для дослідів було взято попередньо приготовані розчини (п. 2.2) та лабораторний посуд з площею поверхні: чашки Петрі $S_{\text{ч.п}}=78,5 \text{ см}^2$ (рис. 2.3, а), мірні стакани $S_{\text{с1}}=19,6 \text{ см}^2$ (рис. 2.3, б) та $S_{\text{с2}}=12,57 \text{ см}^2$ (рис. 2.3, в).

Модельні ставки (лабораторний посуд) на час дослідів розміщували під штучним освітленням (фітолампа FLUORA для рослин L 15W/77 G13 OSRAM) з періодом роботи 12 годин (з 06:00 до 18:00).

Початок серії дослідів складався з перенесення у кожну посудину по 50 мл модельного розчину відповідної концентрації. Після чого додавали наважку ряски $m_p=1-1,6$ г. Перед зважуванням рослини *Lemna minor* відбирали аналогічно підпункту 2.2.1. На рис. 2.3 зображено умови виконання дослідів у модельних біологічних ставках з площею поверхні: а - $S_{ч.п}=78,5$ см²; б - $S_{с1}=19,6$ см²; в - $S_{с2}=12,57$ см². Після розміщення ряски на поверхні води проводили вимірювали (рис. 2.4) за допомогою звичайної лінійки значення висоти шару ряски (без коріння) h_p , шару води h_v та висоту шару ряски (з корінням) h_k .



Рис. 2.3 – Фото модельних споруд для визначення ефекту вилучення NO_3^- ВБР *Lemna minor*:

а - $S_{ч.п}=78,5$ см²; б - $S_{с1}=19,6$ см²; в - $S_{с2}=12,57$ см²

Досліджувана тривалість процесу очищення складала 3, 24, 48 год. Кожного дня проводили візуальний огляд лунок. Усі досліди проводили за однакових умов. По закінченню процесу очищення концентрації іонів NO_3^- в дослідних розчинах вимірювали за допомогою іономіра И160 МИ та електроду вимірювання до нього ЭЛИС -121 NO_3^- [55].

Для вимірів попередньо фільтрували через папір увесь об'єм проби та переносили у мірні стакани, де і проводили виміри. При визначенні дотримувались такого порядку дій: розміщення мірного стакану з пробєю на спеціальному столику, що закріплений на штативі, до якого так само закріплені електрод вимірювання, термопара та електрод порівняння. Електроди та термопару занурювали в мірний стакан з пробєю та активували процес вимірювання натиском кнопки на панелі іономіру. Після звукового сигналу фіксували значення, які виводились на екрані іономіру.

Отримані значення проаналізували за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel та побудували графік залежності вимірюної оптичної густини від концентрації розчинів. Після чого на графіку провели лінію тренду з виведенням рівняння.

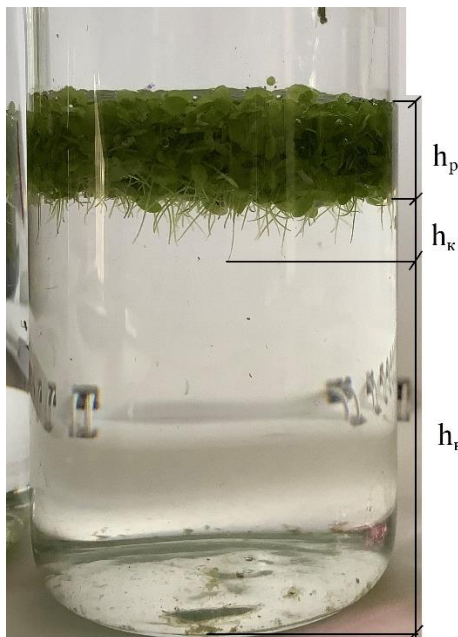


Рис. 2.4 – Фото модельної споруди із зображенням висоти шару ряски (без коріння) h_p , шару води h_b та висоту шару ряски (з корінням) h_k , які вимірювали у процесі дослідження ефекту вилучення NO_3^- ВБР *Lemna minor*

Висновки до розділу

1. Експериментальні дослідження з визначення ефективності очищення води за допомогою ВВР *Lemna minor* від біогенних сполук азоту у вигляді нітратів проводили на базі кафедри екобіотехнології та біоенергетики факультету біотехнології і біотехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

2. Обрано і описано максимально точні методики проведення досліджень для визначення іонів NO_3^- ; описано умови для тимчасового утримання біологічного матеріалу у вигляді вищих водних рослин *Lemna minor*; наведено підготовчі та основні роботи, необхідні для проведення експериментів; перераховано все необхідне обладнання та прилади для проведення дослідів.

3. Охарактеризовано основні параметри обраних та використаних модельних установок.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Експериментальна частина роботи полягала у встановленні оптимальної тривалості очищення (Т) та вивченні впливу співвідношення товщини шару ряски до глибини води (γ), площі поверхні споруди (S), вмісту ряски (C_p) при різних початкових концентраціях іонів NO_3^- (C_n) у процесі очищення стічних вод з використанням ВВР виду *Lemna. minor*.

Значення концентрацій модельних розчинів було обрано наближеними до реальних показників стічних вод (від мінімального вмісту $18,9 \text{ мг NO}_3^-/\text{дм}^3$ до $68,4 \text{ мг NO}_3^-/\text{дм}^3$). Тривалість очищення визначали експериментально (від найменшого значення 3 години до найбільшого 72 години), після чого було проведено аналіз і обрано раціональну. За мету ставили очищення модельних розчинів від сполук нітрогену до мінімального їх вмісту, відповідно до санітарних норм.

Модельні розчини були приготовані, відповідно до методик, зазначених у розділі 2 (пункт 2.1.2), а експериментальна частина проведена, відповідно до методик, описаних у пункті 2.2. Усі модельні розчини було приготовано на основі підготованої води з однієї пляшки.

Дослідження було проведено у декілька етапів та виконано з використанням сучасного лабораторного обладнання.

3.1 Дослідження впливу тривалості очищення на ефективність видалення нітратів вищими водними рослинами *Lemna minor* при різних початкових концентраціях NO_3^- у воді

Лабораторні дослідження представляли собою чотири досліди (дослід 1 - дослід 4), що проходили за однакових умов протягом 3 діб. Для досліду 1-4 було використано наважку ряски масою $m_1=3,75 \text{ г}$. Виміри результатів проводили через 8, 24, 48 і 72 години від початку експерименту.

Для дослідів було використано однакові пластикові контейнери (4 шт.) у кожному по 4 лунки (№1-№4). Моделі біологічних ставків були розміщено в однакові умови.

У табл. 3.1 та на рис. 3.1-3.2 наведено зміну вимірних значень концентрації нітратів у модельному розчині в залежності від тривалості процесу очищення при вихідній концентрації ряски $C_p = 25 \text{ мг/дм}^3$.

Табл. 3.1. Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від тривалості очищення

Тривалість процесу Т, год	Кінцева концентрація C_k , мг/дм ³			
	Дослід 1, $C_p=18,9 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 2, $C_p=28,8 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 3, $C_p=48,6 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 4, $C_p=68,4 \text{ мг/дм}^3$
8	17,6	24,2	46,7	68,3
24	13,9	23,3	47,4	52,8
48	1,3	3,3	31,7	45,7
72	0,6	1,0	1,2	4,5

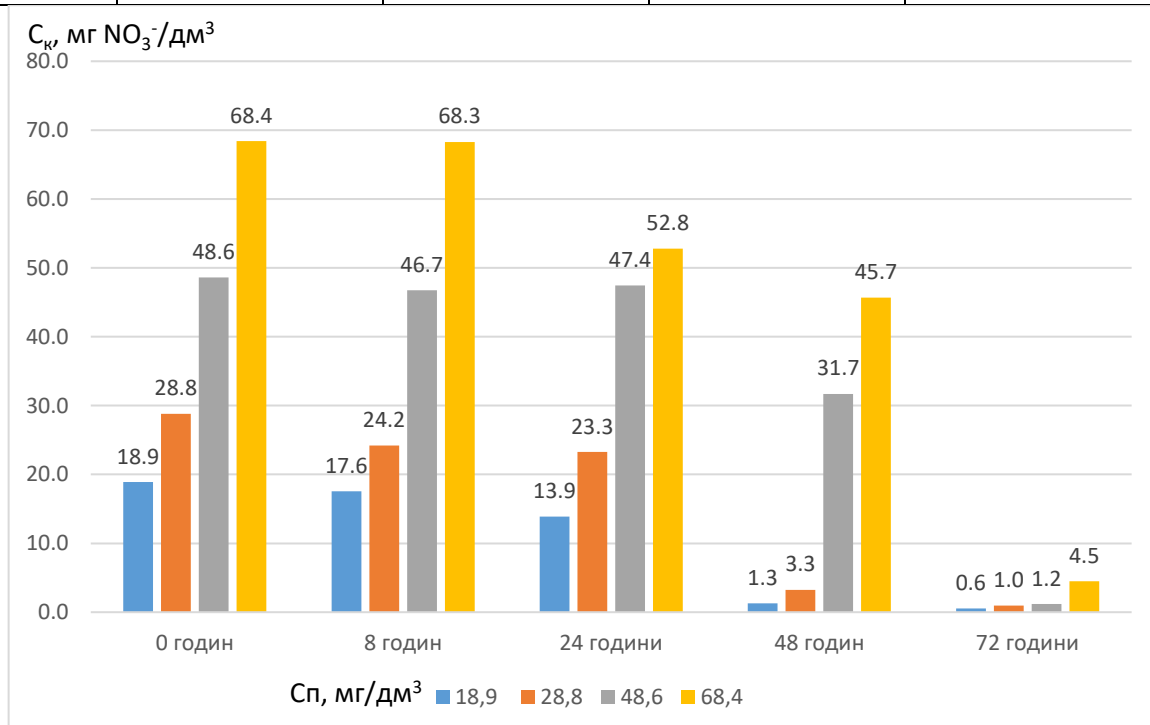


Рис. 3.1 – Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від тривалості очищення при різних початкових концентраціях нітратів у воді

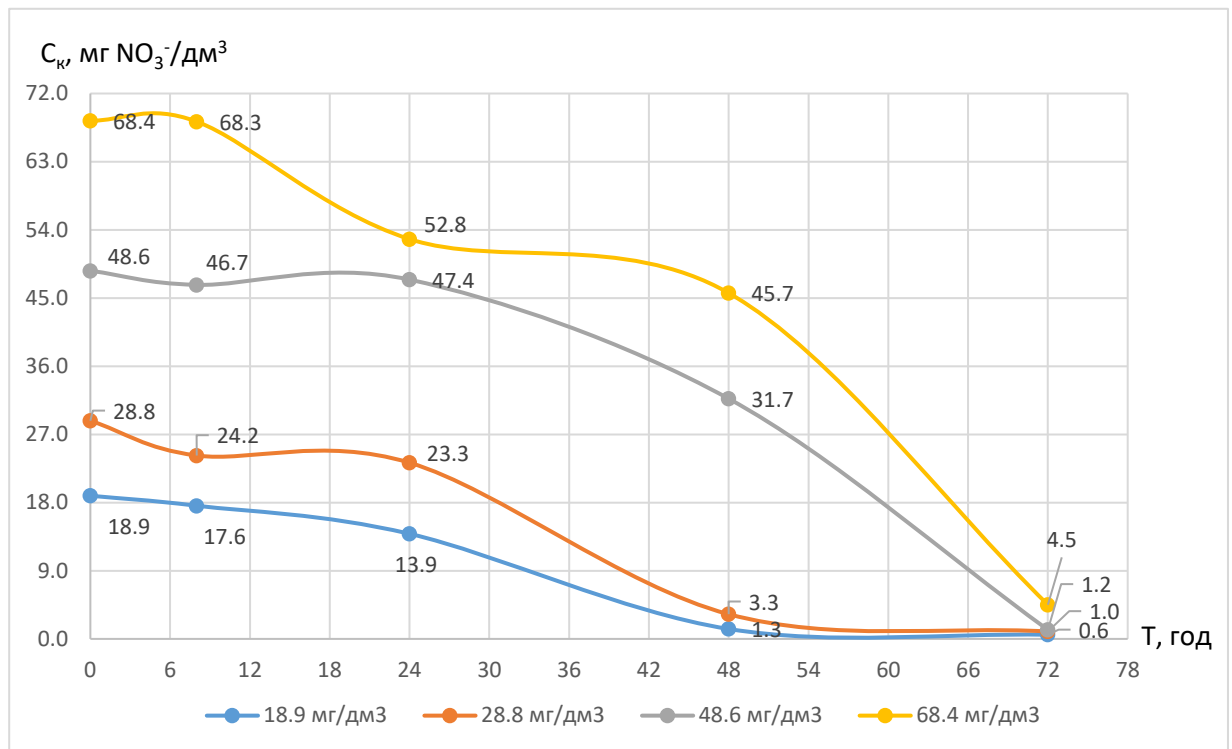


Рис. 3.2 – Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від тривалості очищення стічної води

З отриманих значень видно, що всі модельні розчини було очищено від нітратів до значень, що задовольняють норми ГДК для скиду у поверхневі води, що становить 40 мг/дм^3 . Але для технологічного процесу важливо, щоб процес проходив з найбільшою ефективністю, для мінімізації матеріальних витрат та простоювання обладнання.

Тому, використовуючи отримані результати, було розраховано ефекти очищення (Е) модельних розчинів від нітратів в залежності від тривалості (Т) процесу очищення. У табл. 3.2 та на рис. 3.3 наведено зміну розрахованої ефективності. Ефект очищення розраховували за формулою 3.1:

$$E = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{к}}}{C_{\text{п}}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де $C_{\text{п}}$ – початкова концентрація іонів NO_3^- у модельному розчині, мг/дм^3 ;
 $C_{\text{к}}$ – кінцева концентрація іонів NO_3^- у модельному розчині через відповідний період часу, мг/дм^3 .

Табл. 3.2 – Зміна ефектів очищення модельних розчинів від іонів NO_3^-
в залежності від тривалості процесу

Тривалість процесу Т, год	Ефект очищення стічної води від нітратів, Е, %			
	Дослід 1, $C_{\text{п}}=18,9 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 2, $C_{\text{п}}=28,8 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 3, $C_{\text{п}}=48,6 \text{ мг/дм}^3$	Дослід 4, $C_{\text{п}}=68,4 \text{ мг/дм}^3$
8	7,0	15,9	3,8	0,2
24	26,6	19,2	2,4	22,8
48	93,1	88,7	34,8	33,2
72	97,1	96,6	97,5	93,4

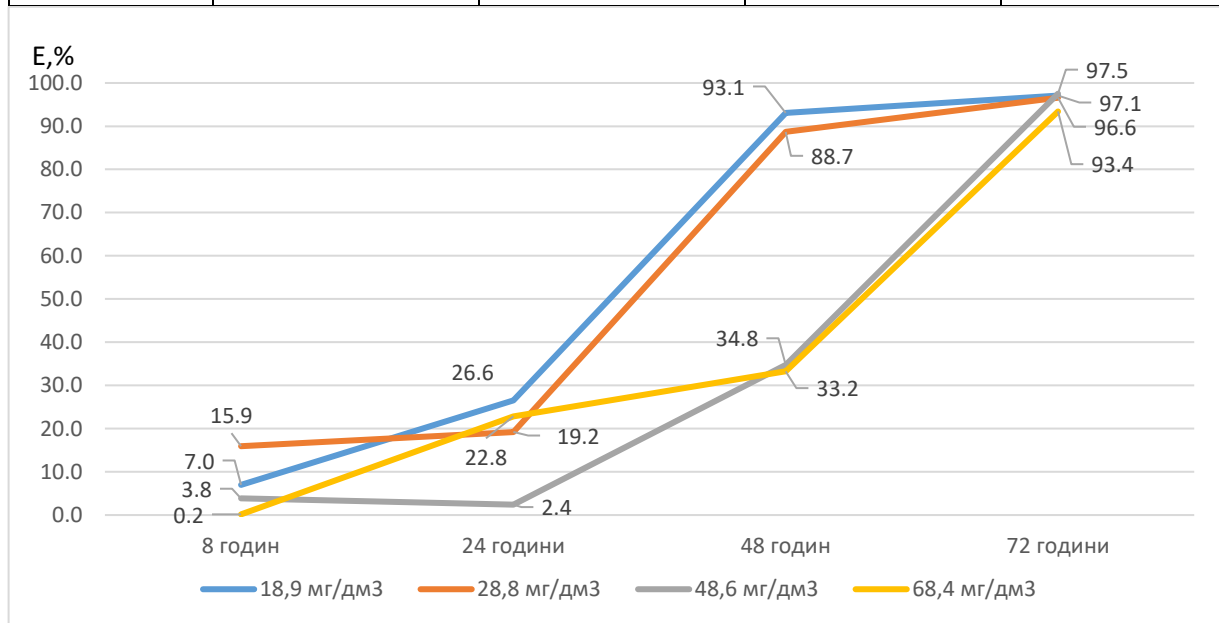


Рис. 3.3 – Зміна ефектів очищення модельних розчинів від іонів NO_3^-
в залежності від тривалості процесу та початкової концентрації нітратів
в розчинах

Відповідно до розрахованих значень можна зробити висновок, що для концентрацій $18,9 \text{ мг/дм}^3$ - $28,8 \text{ мг/дм}^3$ найбільші ефекти очищення від нітратів спостерігали за тривалості очищення - 24-48 годин, а для концентрацій $48,6 \text{ мг/дм}^3$ - $68,4 \text{ мг/дм}^3$ – за тривалості - 48-72 годин.

Також важливим показником для процесу очищення є значення швидкості вилучення забруднюючих речовин. У табл. 3.3 наведено зміну розрахованої швидкості вилучення нітратів (V) в залежності від тривалості очищення (T), а на рис. 3.4 зображено апроксимовані дані.

Швидкість вилучення нітратів визначали за формулою 3.2:

$$V = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{к}}}{T}, \quad \text{мг NO}_3^-/\text{год} \cdot \text{дм}^3 \quad (3.2)$$

де $C_{\text{п}}$ – початкова концентрація іонів NO_3^- у модельному розчині, мг/дм³; $C_{\text{к}}$ – кінцева концентрація іонів NO_3^- у модельному розчині через відповідний період часу, мг/дм³; T – тривалість процесу, год.

Табл. 3.3 – Зміна швидкості очищення модельного розчину від іонів NO_3^- в залежності від тривалості процесу

Тривалість процесу T, год	Швидкість очищення V, мг $\text{NO}_3^-/\text{год} \cdot \text{дм}^3$			
	Дослід 1, $C_{\text{п}}=18,9$ мг/дм ³	Дослід 2, $C_{\text{п}}=28,8$ мг/дм ³	Дослід 3, $C_{\text{п}}=48,6$ мг/дм ³	Дослід 4, $C_{\text{п}}=68,4$ мг/дм ³
8	0,17	0,57	0,23	0,01
24	0,21	0,23	0,05	0,65
48	0,37	0,53	0,35	0,47
72	0,25	0,39	0,66	0,89

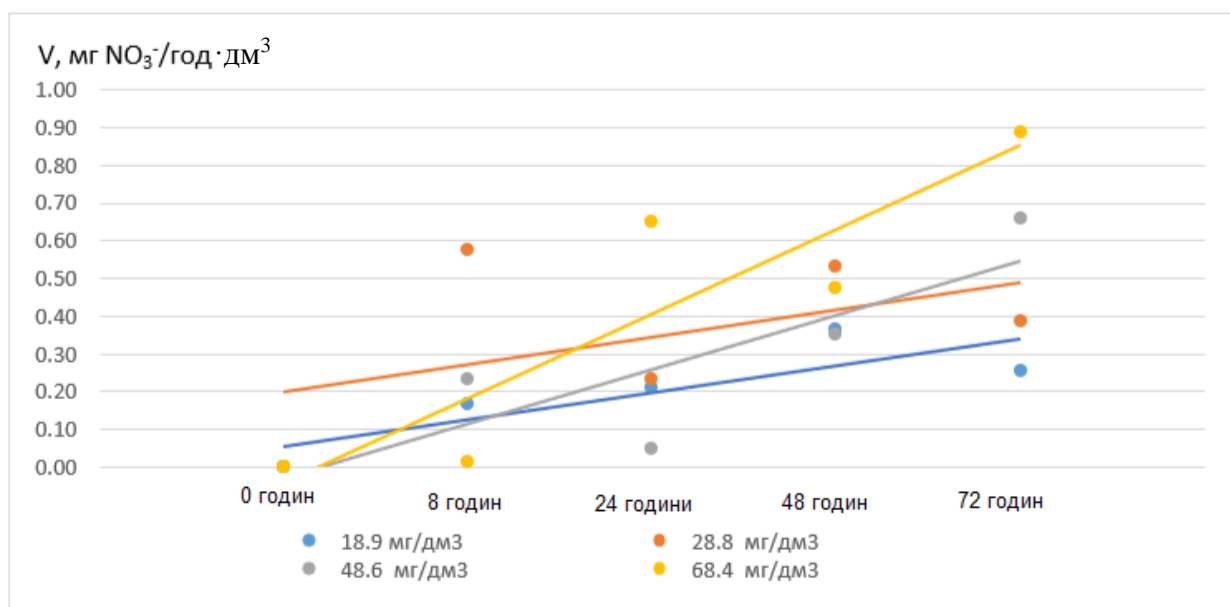


Рис. 3.4 - Зміна швидкості очищення модельного розчину від іонів NO_3^- в залежності від тривалості процесу

На початку процесу на швидкість вилучення може впливати адаптація рослин до концентрацій в модельному розчині. Після чого швидкість зростає, до моменту майже повного вилучення нітратів.

Таким чином важливими характеристиками стану рослин *Lemna minor* в біологічних ставках є навантаження забруднення на ряску, тобто співвідношення кількості забруднень на одиницю маси у відповідний день досліду. В табл. 3.4 та на рис. 3.5 наведено зміну розрахованих значень навантажень за нітратами на ряску в залежності від тривалості очищення. Значення навантаження визначали за формулою 3.3:

$$N_{NO_3^-} = \frac{C_p}{C_r}, \text{ мг } NO_3^-/\text{г} \quad (3.3)$$

де C_p – початкова концентрація іонів NO_3^- у модельному розчині у відповідний період часу, мг/дм³; C_r – вміст біомаси ряски, г/ дм³.

Табл. 3.4 – Зміна навантаження іонів NO_3^- в залежності від тривалості процесу очищення модельного розчину

Тривалість процесу Т, год	Навантаження за нітратами мг NO_3^- /г			
	Дослід 1, $C_1=18,9$ мг/дм ³	Дослід 2, $C_2=28,8$ мг/дм ³	Дослід 3, $C_3=48,6$ мг/дм ³	Дослід 4, $C_4=68,4$ мг/дм ³
0	0,76	1,15	1,94	2,74
8	0,70	0,97	1,87	2,73
24	0,56	0,93	1,90	2,11
48	0,05	0,13	1,27	1,83
72	0,02	0,04	0,05	0,18

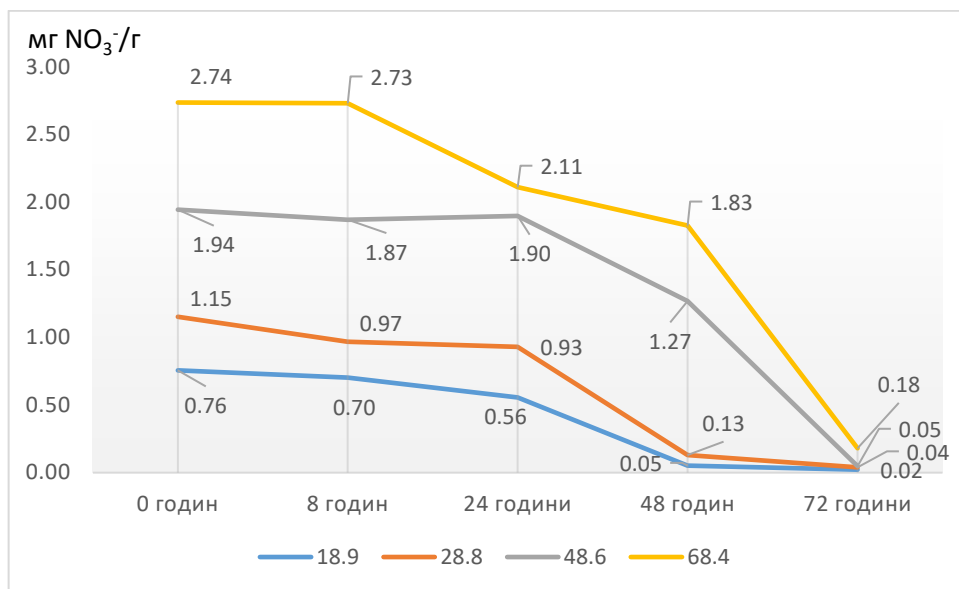


Рис. 3.5 – Зміна навантаження за іонами NO_3^- в залежності від тривалості процесу очищення модельного розчину

Отже, проаналізувавши отримані дані, можна стверджувати, що очищення води від сполук азоту відбувається по різному, в залежності від початкової концентрації забруднень та тривалості процесу. Підбір тривалості процесу залежить від початкової концентрації іонів NO_3^- , так для концентрацій $C(\text{NO}_3^-)$ до 28,8 мг/л найвищий ефект вилучення 97,1% досягається за тривалості 24-48 годин, а для $C(\text{NO}_3^-)$ до 68,3 мг/л – 97,5% за тривалості 48-72 годин. Рекомендовані значення навантаження по нітратах на 1 грам біомаси ряски складає для початкової концентрації $C(\text{NO}_3^-)=18,9$ мг/л - 0,56 мг $\text{NO}_3^-/\text{г}$; для концентрації $C(\text{NO}_3^-)=28,8$ мг/л - 0,93 мг $\text{NO}_3^-/\text{г}$; для концентрації $C(\text{NO}_3^-)=48,6$ мг/л - 1,9 мг $\text{NO}_3^-/\text{г}$; для концентрації $C(\text{NO}_3^-)=68,4$ мг/л - 1,83 мг $\text{NO}_3^-/\text{г}$, адже при більших значеннях навантаження зменшується ефективність процесу.

3.2 Дослідження впливу площі поверхні модельних споруд та співвідношення товщини шару ВВР *Letna minor* до глибини води на процес очищення.

Лабораторні дослідження представляли собою одинадцять дослідів (дослід 5 - дослід 13), що проходили за однакових умов протягом 3 діб. Для дослідів 5-7 було використано три наважки ряски масою $m=1$ г, які було

поміщено у лабораторний посуд з площею поверхні S (рис. 3.6) та модельним розчином об'ємом 50 мл з концентрацією $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$. Виміри результатів проводили через 3, 24 та 48 годин процесу очищення.

Для дослідів 8-10 та 11-13 було використано по три наважки ряски масою $m=1,5 \text{ г}$ та $m=1,6 \text{ г}$, відповідно. Початкові концентрації складали для дослідів 8-10 $C(\text{NO}_3^-)=48,6 \text{ мг/дм}^3$ для дослідів 11-13 $C(\text{NO}_3^-)=68,4 \text{ мг/дм}^3$ у кількості 50 мл. Моделі біоставків були аналогічні дослідам 5-7 з площею S (рис. 3.6). Виміри результатів проводили через 3, 24 та 48 годин процесу очищення.

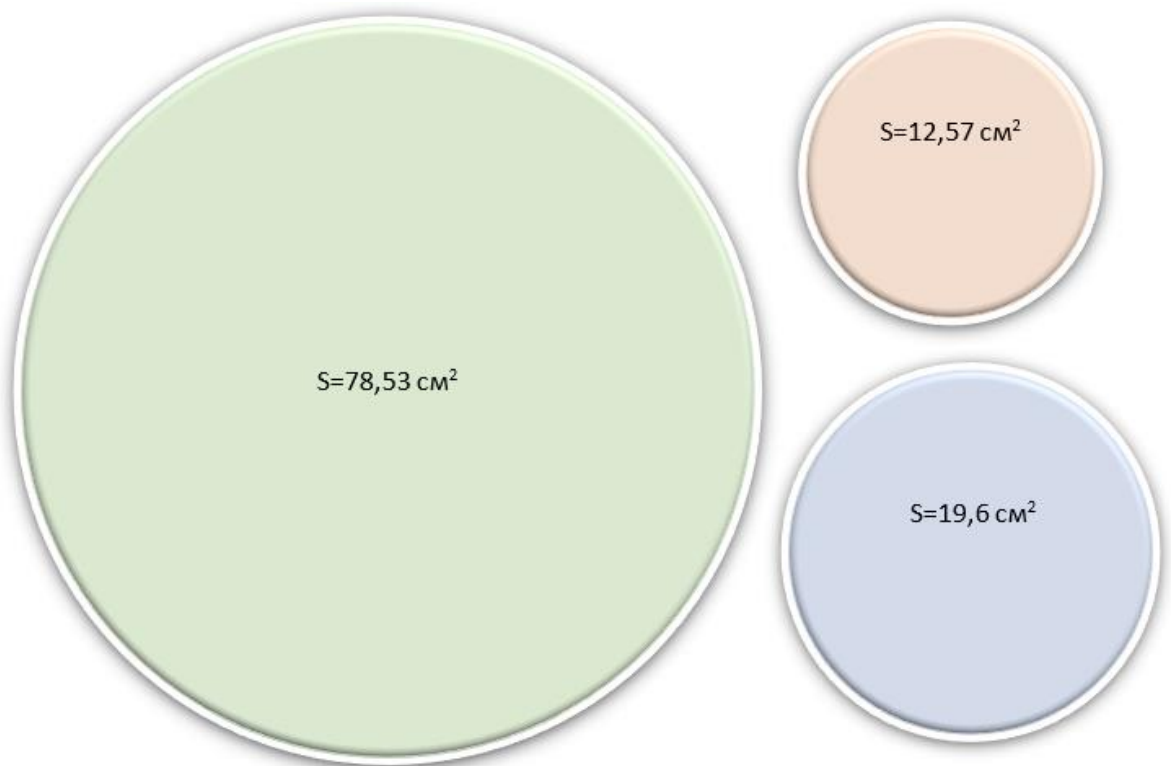


Рис. 3.6 – Зображення поверхні модельних ставків у масштабі 1:1, що використовувались під час дослідів 5-16

У табл. 3.5-3-7 та на рис. 3.7-3.9 наведено зміну вимірних значень концентрації нітратів у модельних розчинах в залежності від значень співвідношення товщини шару ряски до глибини води (γ), тривалості очищення (T), площі поверхні споруди (S). Значення γ розраховували відповідно до вимірних значень h_p , h_v та h_k (див. рис 2.4).

Табл. 3.5 – Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=20\text{г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=28,8\text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T, год	Кінцева концентрація C_k , мг $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$		
	Дослід 5, $\gamma=0.21$; $S=19.6\text{ см}^2$	Дослід 6, $\gamma=0.2$; $S=78.53\text{ см}^2$	Дослід 7, $\gamma=0.17$; $S=12.57\text{ см}^2$
3	28,3	28,2	27,8
24	22,3	18,9	22,9
48	6,8	3,6	12,1

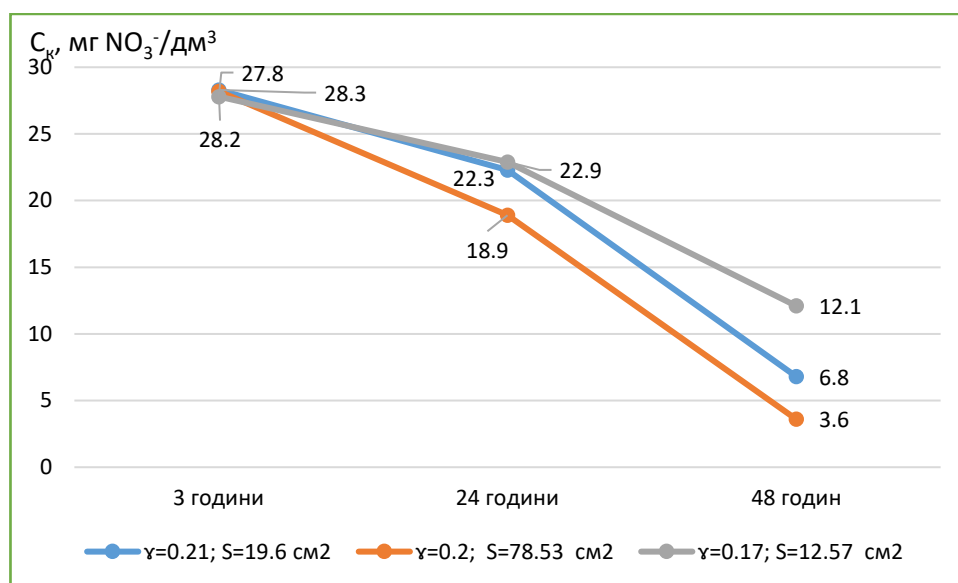


Рис. 3.7 - Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=20\text{г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=28,8\text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.6 – Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=30\text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=48,6\text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T, год	Кінцева концентрація C_k , мг $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$		
	Дослід 8, $\gamma=0.25$; $S=19.6\text{ см}^2$	Дослід 9, $\gamma=0.3$; $S=78.53\text{ см}^2$	Дослід 10, $\gamma=0.28$; $S=12.57\text{ см}^2$
3	46.4	47.6	47.7
24	34.5	28	36.4
48	19.9	14.3	28.5

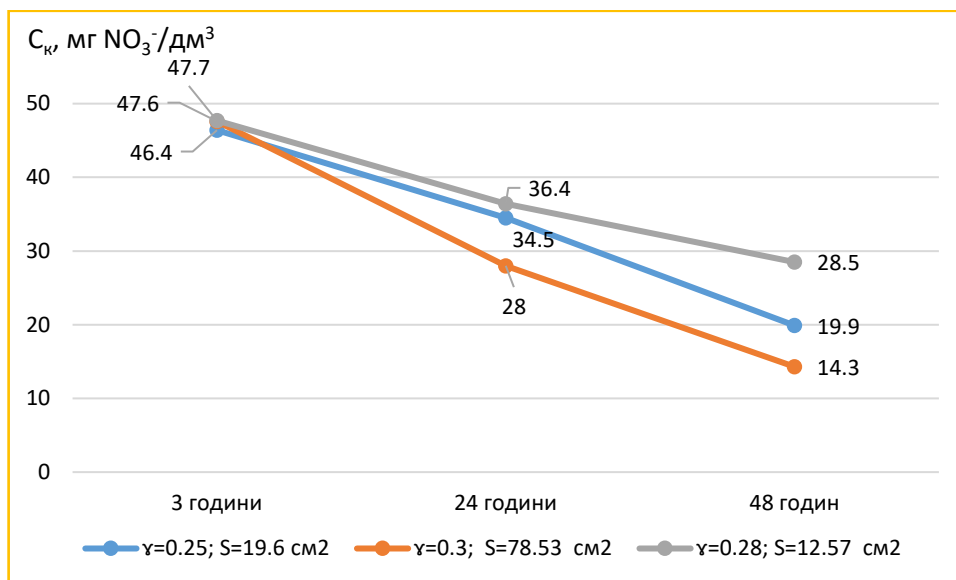


Рис. 3.8 - Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=30\text{г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=48,6\text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.7 – Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=32\text{г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=68,4\text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу Т, год	Кінцева концентрація C_k , мг $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$		
	Дослід 11, $\gamma=0.36$; $S=19.6\text{ см}^2$	Дослід 12, $\gamma=0.33$; $S=78.53\text{ см}^2$	Дослід 13, $\gamma=0.28$; $S=12.57\text{ см}^2$
3	66.4	65.4	68.3
24	57.2	51.2	60.4
48	36.2	28.6	54.1

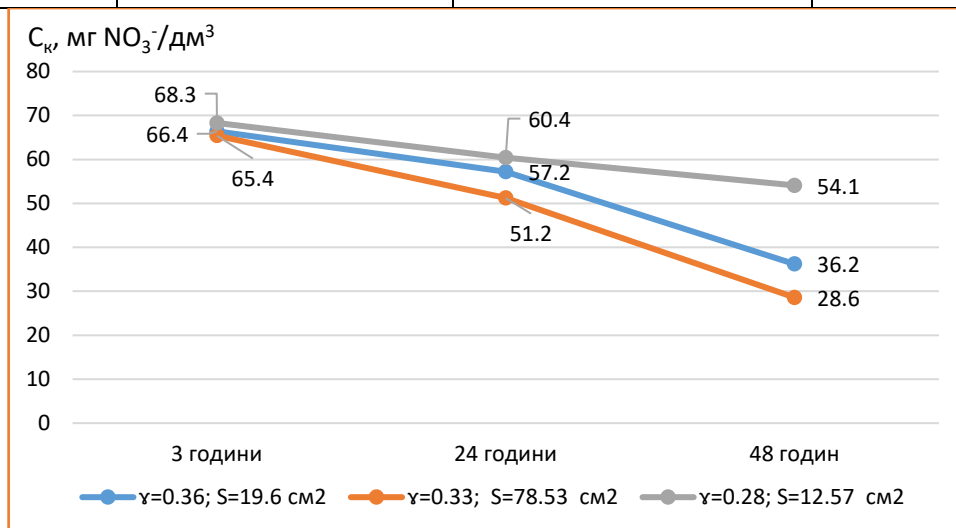


Рис.3.9 - Зміна концентрації іонів NO_3^- в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=32\text{г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=68,4\text{ мг/дм}^3$

З отриманих даних видно, що модельні розчини у дослідах 5-12 було очищено до значень, що задовольняють норми ГДК для скиду у поверхневі води, що складають 40 мг/дм^3 , не залежно від початкових концентрацій забруднень, але для більшої наочності було розраховано ефекти очищення. Розраховані значення представлені у табл. 3.8-3.10 та на рис. 3.10-3.12. Також помітно, що найкращі значення концентрацій досягаються в умовах очищення, де $S=78.53 \text{ см}^2$.

Табл. 3.8 – Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=20 \text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T , год	Ефекти очищення від нітратів, E , %		
	Дослід 5, $\gamma=0.21$; $S=19.6 \text{ см}^2$	Дослід 6, $\gamma=0.2$; $S=78.53 \text{ см}^2$	Дослід 7, $\gamma=0.17$; $S=12.57 \text{ см}^2$
3	1.7	2.1	3.5
24	22.6	34.4	20.5
48	76.4	87.5	58.0

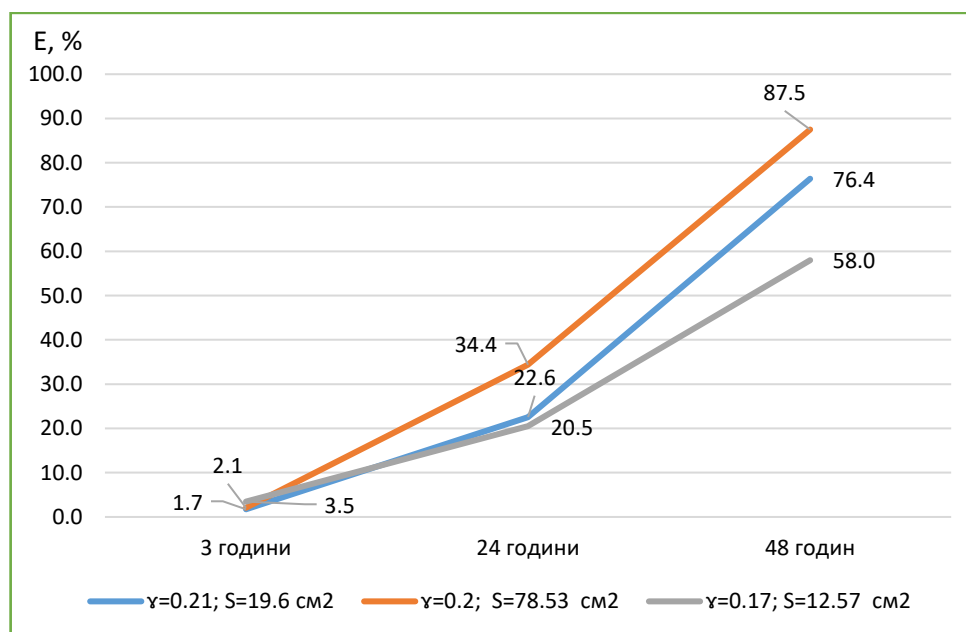


Рис. 3.10 - Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=20 \text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.9 – Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=30$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=48,6$ мг/дм³

Тривалість процесу T, год	Ефекти очищення від нітратів, E, %		
	Дослід 8, $\gamma=0.25$; S=19.6 см ²	Дослід 9, $\gamma=0.3$; S=78.53 см ²	Дослід 10, $\gamma=0.28$; S=12.57 см ²
3	4.5	2.1	1.9
24	29.0	42.4	25.1
48	59.1	70.6	41.4

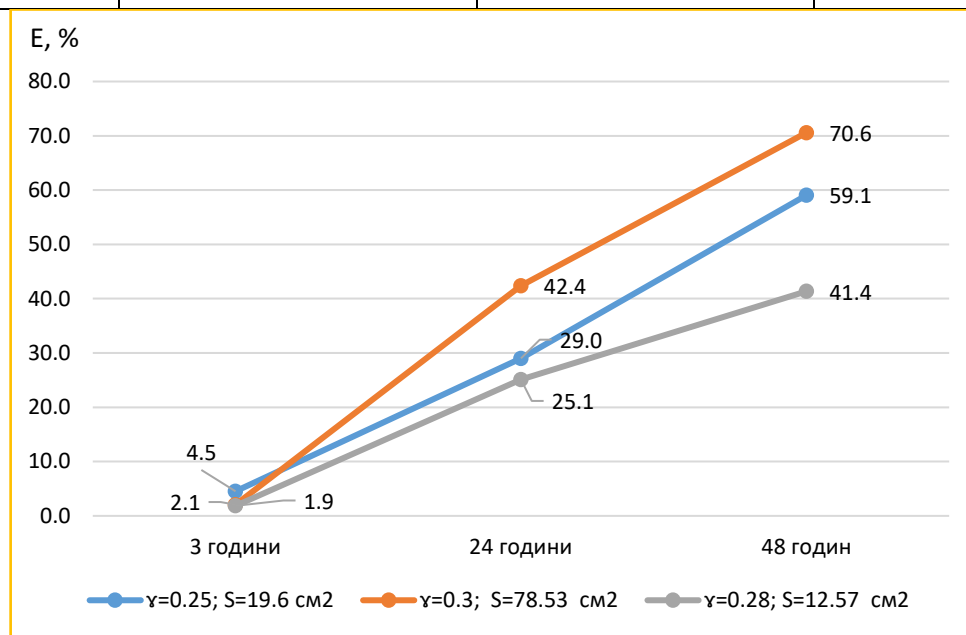


Рис. 3.11 - Зміна ефектів очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=30$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=48,6$ мг/дм³

Табл. 3.10 – Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=32$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=68,4$ мг/дм³

Тривалість процесу T, год	Ефекти очищення від нітратів, E, %		
	Дослід 11, $\gamma=0.36$; S=19.6 см ²	Дослід 12, $\gamma=0.33$; S=78.53 см ²	Дослід 13, $\gamma=0.28$; S=12.57 см ²
3	2.9	4.4	0.1
24	16.4	25.1	11.7
48	47.1	58.2	20.9

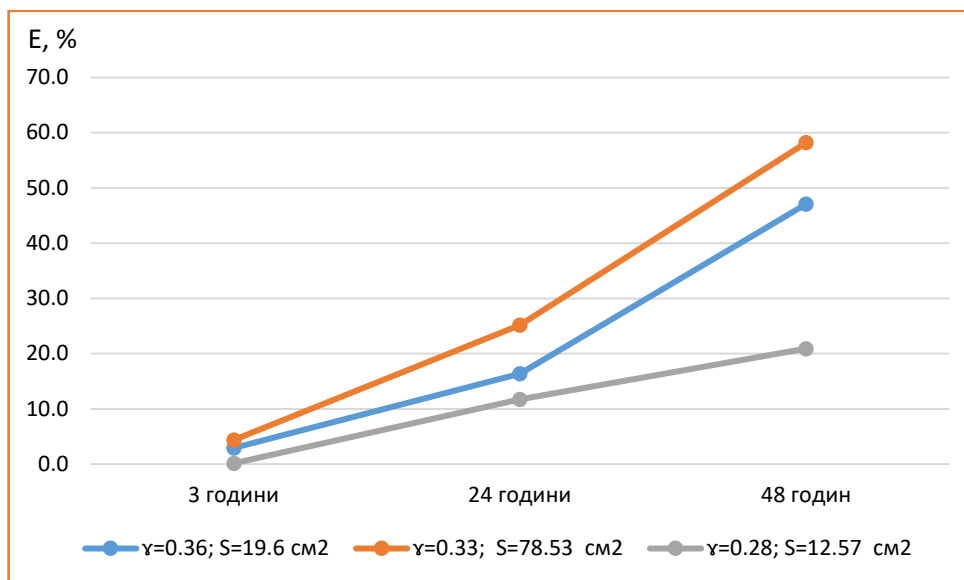


Рис. 3.12 - Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=32$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=68,4$ мг/дм³

Відповідно до розрахованих значень, можна зробити висновок, що для всіх дослідів найефективнішим виявився процес очищення з тривалістю 24-48 годин, але для дослідів 7, 10 та 13 значення ефектів значно менші ніж у інших зразків серії.

Також важливим показником для процесу очищення є величина швидкості вилучення забруднюючих речовин. У табл. 3.11-3.13 та на рис. 3.13-3.15 наведено зміну розрахованої швидкості вилучення нітратів (V) в залежності від тривалості очищення (T).

Табл. 3.11 – Зміна швидкості очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=20$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=28,8$ мг/дм³

Тривалість процесу T, год	Швидкість процесу очищення V, мг NO ₃ ⁻ /год·дм ³		
	Дослід 5, $\gamma=0.21$; S=19.6 см ²	Дослід 6, $\gamma=0.2$; S=78.53 см ²	Дослід 7, $\gamma=0.17$; S=12.57 см ²
3	0.17	0.20	0.33
24	0.27	0.41	0.25
48	0.46	0.53	0.35

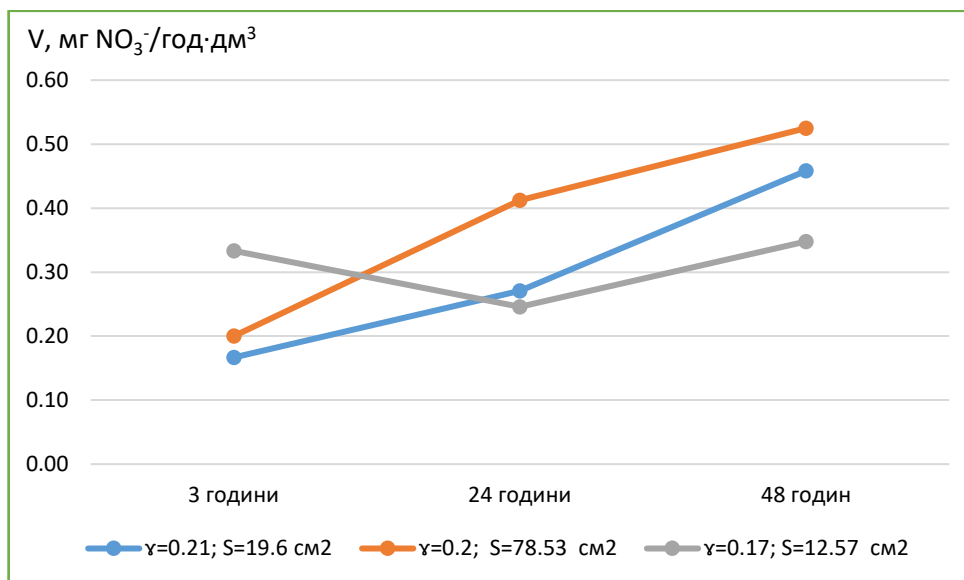


Рис. 3.13 - Зміна швидкості очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=20 \text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.12 – Зміна швидкості очищення модельного розчину від значень γ , S та T , при $C_p=30 \text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=48,6 \text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T , год	Швидкість процесу очищення V , мг $\text{NO}_3^-/\text{год} \cdot \text{дм}^3$		
	Дослід 8, $\gamma=0.25; S=19.6 \text{ см}^2$	Дослід 9, $\gamma=0.3; S=78.53 \text{ см}^2$	Дослід 10, $\gamma=0.28; S=12.57 \text{ см}^2$
3	0.73	0.33	0.30
24	0.59	0.86	0.51
48	0.60	0.71	0.42

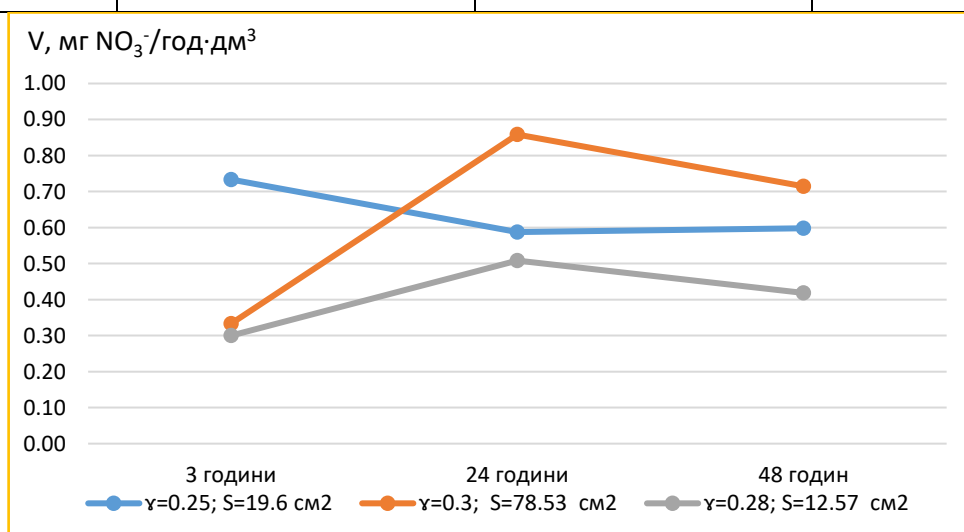


Рис. 3.14 - Зміна швидкості очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T , при $C_p=30 \text{ г/дм}^3$; $C(\text{NO}_3^-)=48,6 \text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.13 – Зміна швидкості очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=32$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=68,4$ мг/дм³

Тривалість процесу T, год	Швидкість процесу очищення V, мг NO ₃ ⁻ /год·дм ³		
	Дослід 11, $\gamma=0.36$; S=19.6 см ²	Дослід 12, $\gamma=0.33$; S=78.53 см ²	Дослід 13, $\gamma=0.28$; S=12.57 см ²
3	0.67	1.00	0.03
24	0.47	0.72	0.33
48	0.67	0.83	0.30

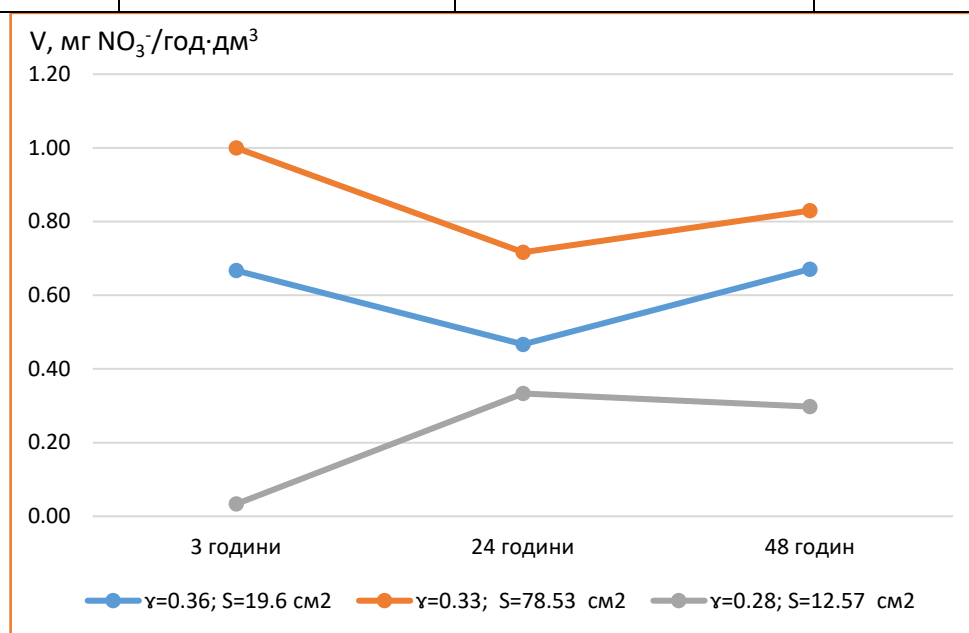


Рис. 3.15 - Зміна швидкості очищення модельного розчину в залежності від значень γ , S та T, при $C_p=32$ г/дм³; $C(\text{NO}_3^-)=68,4$ мг/дм³

Отже, проаналізувавши отримані дані, можна стверджувати, що очищення води від сполук азоту відбувається по різному, в залежності від початкової концентрації забруднень, площі поверхні біоставки, співвідношення товщини шару ряски до глибини води та тривалості процесу. Можна відмітити, що кращі значення ефектів очищення досягаються у спорудах з більшою площею поверхні.

Слід зауважити, що значення співвідношення γ для різної площі поверхні S, має різний вплив на процес очищення. Так, для дослідів 5, 8 та 11 зі збільшенням концентрації і збільшенням значення γ ефекти очищення не збільшуються, це можна пояснити занадто великою товщиною шару ряски та

малою площею споруди. У такому шарі частина рослин недоотримує світла, а друга – не контактує з розчином. Аналогічно у дослідах 7, 10 та 13. А ось у дослідах 6, 9 та 12 таке збільшення концентрацій та співвідношення γ дозволяє відбуватися процесам з ефектами більшими 50%. Можна припустити, якщо збільшити тривалість очищення або значення співвідношення γ у дослідах 9 та 12, то ефект очищення від нітратів збільшиться.

Додатково було проведено лабораторні дослідження (дослід 14 - дослід 15), що проходили за однакових умов протягом 3 діб. Для них було використано 2 наважки ряски масою 1,5 г і 1 г, відповідно, які було поміщено у лабораторний посуд з площею поверхні $S=19,6 \text{ см}^2$ (див. рис. 3.6) та модельним розчином об'ємом 50 мл з концентрацією $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$ і $48,6 \text{ мг/дм}^3$, відповідно. Виміри результатів проводили при тривалості 3, 24 та 48 годин процесу очищення.

У табл. 3.14-3-15 та на рис. 3.16-3.17 наведено зміну вимірних значень концентрації нітратів у модельних розчинах в залежності від значень γ , C_p та T . Значення γ розраховували відповідно до вимірних значень h_p , h_v та h_k (див. рис 2.4).

Табл. 3.14 – Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , C_p та T , при $C(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T , год	Кінцева концентрація C_k , $\text{мг NO}_3^-/\text{дм}^3$	
	Дослід 5 $\gamma=0.21$; $C_p=20 \text{ г/дм}^3$	Дослід 14, $\gamma=0.3$; $C_p=30 \text{ г/дм}^3$
3	28.3	26.7
24	22.3	21.5
48	6.8	7.5

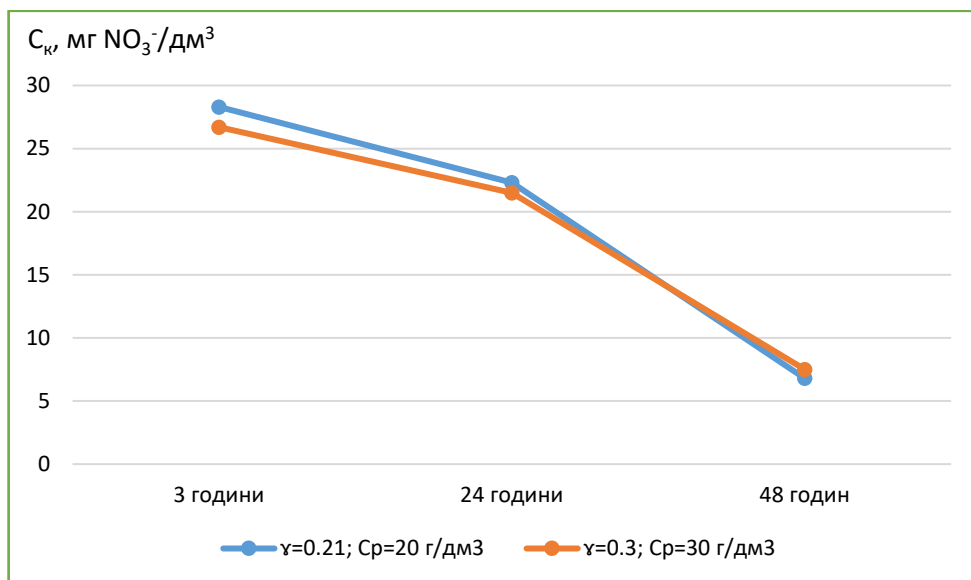


Рис. 3.16 - Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , C_p та T , при $C(\text{NO}_3^-)=28,8\text{мг/дм}^3$

Табл. 3.15 – Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=48,6\text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу год	Кінцева концентрація C_k , мг $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$	
	Дослід 15, $\gamma=0.21$; $C_p=20\text{ г/дм}^3$	Дослід 8, $\gamma=0.25$; $C_p=30\text{ г/дм}^3$
3	46.6	46.4
24	34.4	34.5
48	17.2	19.9

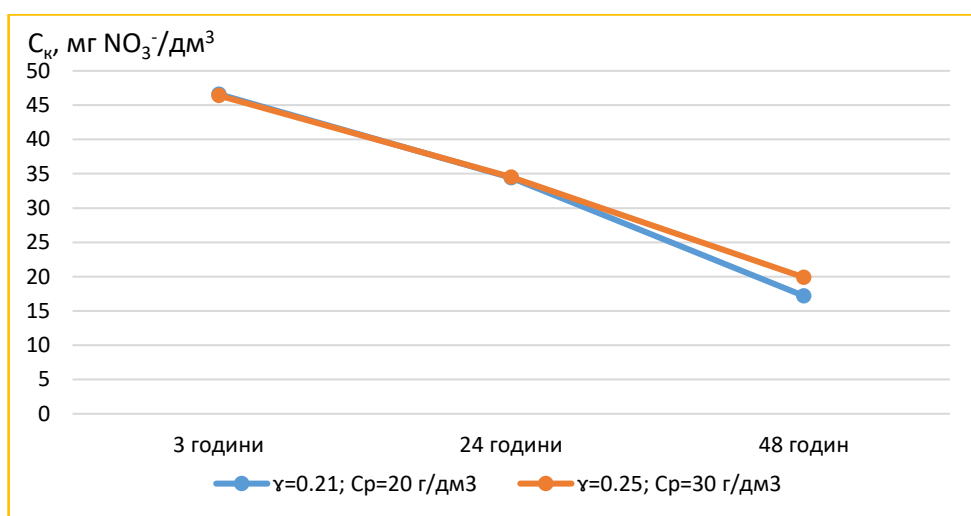


Рис. 3.17 - Зміна концентрації іонів NO_3^- у модельному розчині в залежності від значень γ , C_p та T , при $C(\text{NO}_3^-)=48,6\text{ мг/дм}^3$

З отриманих даних видно, що модельні розчини у дослідях було очищено до значень концентрацій нітратів, що задовольняють норми ГДК для скиду у поверхневі води не залежно від початкових концентрацій забруднень. Можна помітити, що при меншому співвідношенні γ та меншій концентрації ряски значення концентрації іонів NO_3^- менше. Для аналізу отриманих даних було розраховано значення ефектів очищення. Вони представлені у табл. 3.15-3.16 та на рис. 3.18-3.19.

Табл. 3.16 – Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $(\text{NO}_3^-)=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Тривалість процесу T , год	Ефекти очищення від нітратів, E , %	
	Дослід 5, $\gamma=0.21$; $C_p=20 \text{ г/дм}^3$	Дослід 14, $\gamma=0.3$; $C_p=30 \text{ г/дм}^3$
3	1.7	7.3
24	22.6	25.3
48	76.4	74.0

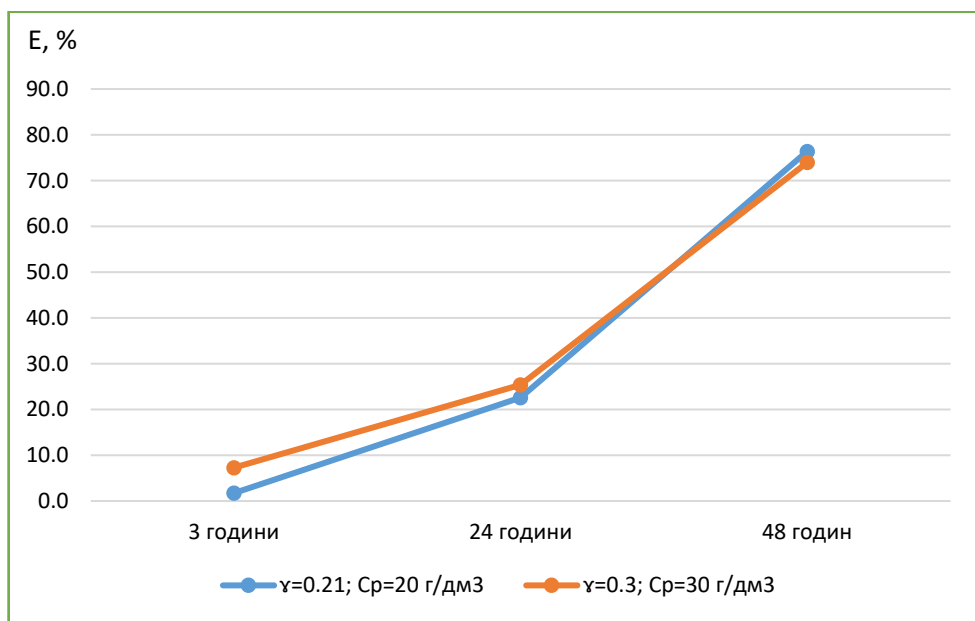


Рис. 3.18 - Ефекти очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=28,8 \text{ мг/дм}^3$

Табл. 3.17 – Зміна ефектів очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=48,6$ мг/дм³

Тривалість процесу T , год	Ефекти очищення від нітратів, E , %	
	Дослід 15, $\gamma=0.21$; $C_p=20$ г/дм ³	Дослід 8, $\gamma=0.25$; $C_p=30$ г/дм ³
3	4.1	4.5
24	29.2	29.0
48	64.6	59.1

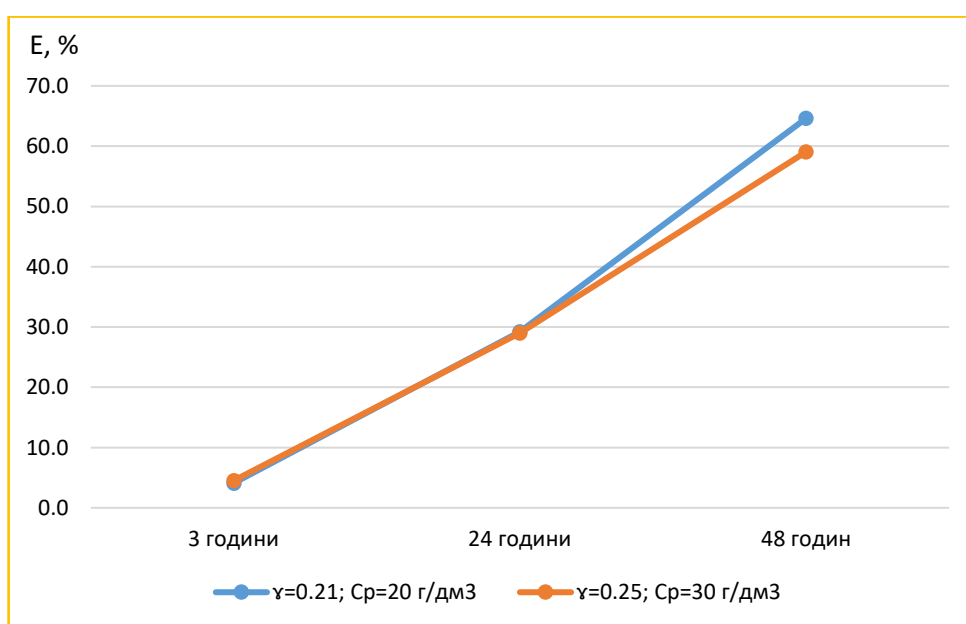


Рис. 3.19 - Ефекти очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=48,6$ мг/дм³

Відповідно до розрахованих значень, можна зауважити, що для всіх дослідів найефективніше процес очищення проходить за тривалості 24-48 годин. Порівнюючи значення концентрацій при різних співвідношеннях γ та концентраціях C_p , можна зробити висновок, що процес краще проходить при значеннях $\gamma=0,21$ та $C_p=20$ г/дм³. Можна зробити припущення, що наефективніше процес може відбуватись за значень, які належать проміжку досліджених, тобто для γ між значеннями 0,21- 0,3, а для C_p - у проміжку між 20-30 г/дм³.

Для аналізу процесу очищення було розраховано значення швидкості вилучення забруднюючих речовин. У табл. 3.18-3.19 та на рис. 3.13-3.15 наведено зміну розрахованої швидкості вилучення нітратів (V) в залежності від тривалості очищення (T).

Табл. 3.18 – Зміна швидкості очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=28,8$ мг/дм³

Тривалість процесу T , год	Швидкість процесу очищення V , мг NO_3^- /год·дм ³	
	Дослід 5, $\gamma=0.21$; $C_p=20$ г/дм ³	Дослід 14, $\gamma=0.3$; $C_p=30$ г/дм ³
3	0.17	0.70
24	0.27	0.30
48	0.46	0.44

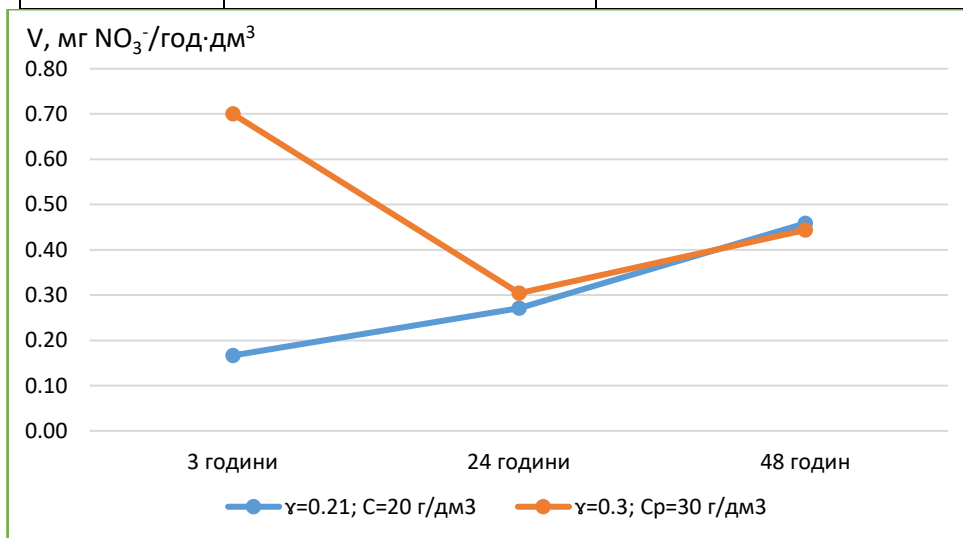


Рис. 3.20 - Зміна швидкості очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=28,8$ мг/дм³

Табл. 3.19 – Зміна швидкості очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_p та T , при $C=48,6$ мг/дм³

Тривалість процесу T , год	Швидкість процесу очищення V , мг NO_3^- /год·дм ³	
	Дослід 15, $\gamma=0.21$; $C_p=20$ г/дм ³	Дослід 8, $\gamma=0.25$; $C_p=30$ г/дм ³
3	0.67	0.73
24	0.59	0.59
48	0.65	0.60

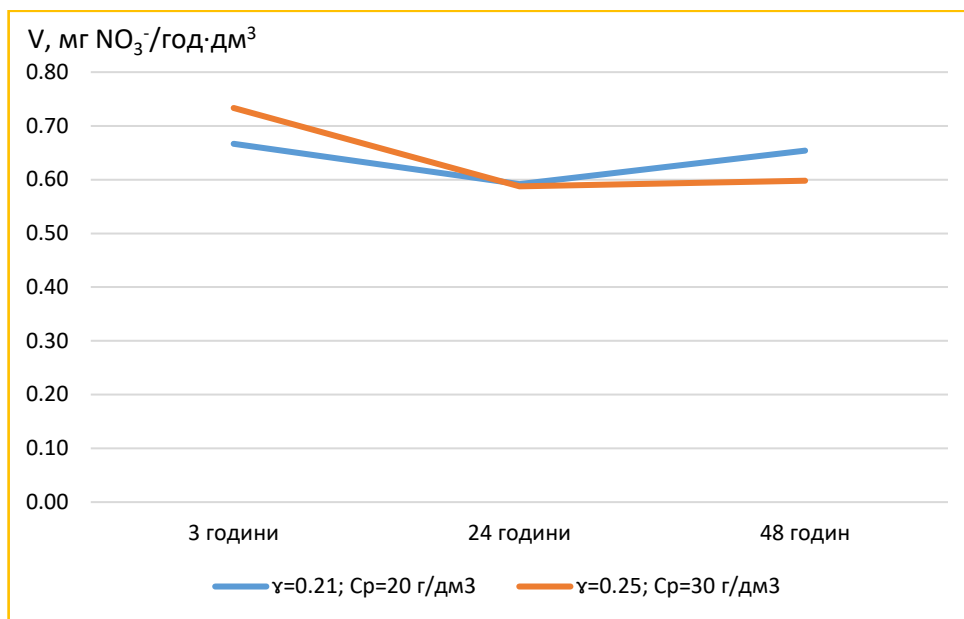


Рис. 3.21 - Зміна швидкості очищення модельного розчину від нітратів в залежності від значень γ , C_r та T , при $C=48,6 \text{ мг/дм}^3$

Отже, проаналізувавши отримані дані, можна стверджувати, що очищення води від сполук азоту відбувається по різному, в залежності від початкової концентрації забруднень, співвідношення товщини шару ряски до глибини води та тривалості процесу. Можна відмітити, що швидкість процесу поглинання рослинами при початковій концентрації $48,6 \text{ мг/дм}^3$ відбувається рівномірно упродовж всього дослідів. При концентрації $28,8 \text{ мг/дм}^3$ у досліді 5 швидкість зростає при збільшенні тривалості, а у досліді 14 на початку процесу досягає свого максимуму, після чого зменшується вдвічі.

Висновки до розділу

1. В результаті виконаних 15 експериментів та обрахування даних було сформовано висновки стосовно ефективності вилучення біогенних сполук нітрогену з модельних розчинів концентрацію $18,9; 28,8; 48,6; 68,4 \text{ мг/дм}^3$. У дослідях 1-4 було використано наважку $3,75 \text{ г}$ біологічного матеріалу ряски *Letna minor*, концентрація ряски складала $C_r=25 \text{ г/дм}^3$; у дослідях 5-7, 14 наважка складала 1 г ($C_r=20 \text{ г/дм}^3$); у дослідях 8-10, 15 наважка – $1,5 \text{ г}$ ($C_r=30 \text{ г/дм}^3$); у дослідях 11-13 наважка- $1,6 \text{ г}$ ($C_r=32 \text{ г/дм}^3$). Було визначено

вплив початкової концентрації забруднень, концентрації біомаси ряски (C_p), тривалості очищення (T), співвідношення шару ряски до шару води (χ), площі поверхні біоставка (S).

2. Було встановлено, що із збільшенням початкової концентрації забруднень тривалість процесу очищення за використання ВВР виду *Letma minor* необхідно збільшувати. Також було встановлено, що для концентрацій $C(\text{NO}_3^-)$ до 28,8 мг/л тривалість процесу очищення (T) лежить у проміжку від 24 до 48 годин, а для $C(\text{NO}_3^-)$ до 68,4 мг у межах від 48 до 72 годин (при концентрації ряски $C_p=25\text{г/дм}^3$). Важливо підбирати для початкових концентрацій забруднень відповідний час очищення, адже у повномасштабному процесі важливо, щоб обладнання не простоювало. Адже при неефективній роботі обладнання виникають додаткові економічні витрати.

3. Під час дослідження впливу площі поверхні біоставка S та співвідношення товщини шару ряски до глибини води, було встановлено, що кращі значення ефектів очищення від нітратів досягаються у спорудах з більшою площею поверхні.

Слід зауважити, що значення співвідношення χ для різної площі поверхні S має різний вплив. Так, для дослідів 5, 8 та 11 зі збільшенням концентрації і збільшенням значення χ ефекти не збільшуються, це можна пояснити занадто великою товщиною шару ряски (0,5-0,8 см) та малою площею споруди ($19,6\text{ см}^2$). У такому шарі частина рослин недоотримує світла, а друга – не контактує з розчином. Аналогічно у дослідах 7, 10 та 13. А ось у дослідах 6, 9 та 12 таке збільшення концентрацій та співвідношення χ дозволяє відбуватися процесам з ефектами очищення від нітратів більше 50%. Можна припустити, якщо збільшити тривалість очищення або значення співвідношення χ у дослідах 9 та 12 (де $S=78,53\text{ см}^2$), то ефекти видалення нітратів збільшаться.

4. Порівнюючи значення кінцевих концентрацій $C(\text{NO}_3^-)$ при різних співвідношеннях χ та концентраціях C_p , можна зробити висновок, що процес

краще проходить при значеннях $\gamma=0,21$ та $C_p=20\text{г/дм}^3$. Можна зробити припущення, що наефективніший процес очищення від нітратів може відбуватись за зазначень, які належать проміжку досліджених, тобто для γ між значеннями 0,21- 0,3, а для C_p у проміжку між 20-30 г/дм³ за площі поверхні біоставка $S=19,6\text{ см}^2$.

5.Визначено навантаження за Нітрогеном на ряску *Letna minor* та швидкість вилучення нітратів з модельних розчинів. Зі збільшенням тривалості очищення зразків (Т) навантаження за Нітрогеном на неї зменшується.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Бізнес-ідея: розробити модель та скласти розрахунки технології біологічного доочищення стічних вод від сполук нітрогену вищими водними рослинами виду *Lemna minor*.

Об'єктом дослідження є модельні розчини стічної води з вмістом біогенних сполук нітрогену у вигляді нітратів, що підлягають біологічному очищенню.

Назва роботи: біотехнологія доочищення стічних вод від сполук нітрогену з використанням рослин виду *Lemna minor*.

Суб'єктом являється підприємства з спорудами біологічного очищення/ приватне замовлення

Актуальність: Розробка економічно ефективних та екологічних технологій очищення стічних вод, забруднених різноманітними хімічними сполуками, які згубно діють на живі організми та здоров'я людини - тема глобального інтересу. Особливо це стосується забруднень поверхневих вод сполуками нітратів, що потрапляють із виробничими, господарсько-побутовими стічними водами та поверхневим стоком, що надходить із сільськогосподарських територій. Надлишок сполук N погіршує якість води, створює ризики для людей та худоби, загрожує рідкісним середовищам проживання, екосистемам та прискорює природний процес евтрофікації у водних системах.

Актуальність проекту полягає в тому, щоб вирішити проблему евтрофікації поверхневих вод за допомогою, розробленого методу біологічного доочищення стічних вод від сполук нітрогену використовуючи вищі водні рослини виду *Lemna minor*.

Метою даної роботи є вибір та обґрунтування ефективної технології біологічного очищення стічних вод від сполук нітрогену до норм скиду.

Продукт: екологічний ефект на навколишнє середовище у вигляді очищеної стічної води.

Технологія: двоступінчата, що складається з очищення стічних вод на основних (класичних) спорудах біологічного очищення та доочищення у біоставках за допомогою вищих водних рослин.

Джерела сировинної бази: основною сировиною є стічні води, що мають господарсько-побутове та/або промислове походження.

Кваліфікація персоналу: для забезпечення безперервності процесу очищення необхідно мати у штаті персонал, що відповідає Національним рамкам кваліфікації.

Ринок збуту: комунальні підприємства, фізичні особи, приватні підприємства.

Конкурентні переваги: екологічність, модернізована технологія без аналогів на ринку збуту, можливість налаштування необхідних параметрів очищення стічних вод та перспектива вдосконалення процесу.

У табл. 4.1 представлено узагальнене резюме розробленого стартап-проекту

Табл. 4.1 Резюме стартап-проекту

№ п/п	Показник	Характеристика
1	Сутність ідеї	Розробити технологію біологічного очищення стічних вод з доочищенням з використанням ВВР
2	Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналоги відсутні, існують подібні технології
3	Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Ефективне очищення стічних вод від сполук нітрогену
4	Ступінь розробленості технології реалізації	Технологія повністю розроблена та може бути реалізована у виробництві
5	КВЕД, до якого може належати дане виробництво	Е – водопостачання, каналізація, поводження з відходами
6	Очікувана потужність виробництва	Велике та середнє підприємство
7	За масштабом виробництва	Одиничні, серійні
8	За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, комбіновані
9	За ресурсами, що споживатимуться	Працемісткі, матеріаломісткі
10	За чисельністю персоналу	До 15

11	Органи управління при реалізації стартапі	Національні
12	Бажане географічне розташування - потужностей стартапу; - офісу стартапу; - збутової мережі; -постачальників комплектуючих	Існуючі та нові очисні споруди на території України
13	Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Розробка
14	Ключові фактори успіху стартапу	Доведення значень концентрацій сполук нітрогену у стічних водах до норм скиду у природні водойми
15	Споживачі (основні на етапі впровадження, групи, орієнтовна чисельність)	Комунальні підприємства, фізичні особи, приватні підприємства
16	Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	Установка системи доочищення на існуючих очисних спорудах
17	Джера фінансування	Внутрішні, національні
18	Планове місце реалізації результату розробки	Територія України
19	Наявність посередників при реалізації (так, ні, орієнтовні посередники, форми оплати їх діяльності)	Відсутні
20	Методи просування результатів розробки на ринок	Поширення рекламної інформації по існуючим підприємствам, комунальним закладам та екологічним товариствам

4.1 Аналіз внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства

У табл. 4.2-4.3 представлений аналіз внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства. Такий аналіз проводиться для кращо розуміння факторів, що впливають на реалізацію проекту.

Табл. 4.2 – Внутрішні фактори підприємства [56]

Переваги	Недоліки
Організаційна структура та управління підприємством	
<ul style="list-style-type: none"> • Невеликий робочий штат; • Можливість автоматизації процесу; 	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідність мати у штаті кваліфікований персонал; • Плинність кадрів
Виробництво	
<ul style="list-style-type: none"> • Надлишок вихідної сировини на території України; • Можливість використання вищих водних рослин у якості корму/ добрива/ для виробництва біогазу; • Надійні в екстремальних умовах експлуатації; • Естетичність та захист диких тварин; • Можливість обробляти стічні води різного походження; • Можливість працювати у широкому діапазоні погодних умов; • Відсутність небезпечних відходів. 	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідність моніторингу вхідних показників; • Необхідність в періодичному збиранні надлишкових вищих водних рослин; • Можливість виникнення конкурентів; • Довгий період початку/наладки технологічного процесу (дні-тижні).
Фінанси	
<ul style="list-style-type: none"> • Низькі витрати на експлуатацію та обслуговування; • Низькі витрати на заробітню плату за рахунок невеликого робочого штату; 	<ul style="list-style-type: none"> • Первинні капіталовкладення; • Відсутність прямого прибутку

Табл. 4.3 – Зовнішні фактори підприємства [57]

Переваги	Недоліки
Політика	
<ul style="list-style-type: none"> - Направленість законодавчої влади на підтримку проєкту; - Нормована система штрафних санкцій за порушення; - Покращення співпраці з науковими інститутами та підприємствами; - Курс на впровадження оновлених обов'язкових реформ. 	<ul style="list-style-type: none"> - Відсутність матеріальної підтримки науково-дослідних робіт; - Неналежний контроль норм скиду стічних вод у природні водойми; - Загострення політичної ситуації в Україні.

Економіка	
<ul style="list-style-type: none"> -Інвестиції у майбутнє; -Вторинне використання води підприємством; -Продаж надлишкового біологічного матеріалу (вищих водних рослин) для переробки на корм, добриво, субстрат для виробництва енергії; -Модернізовані технології приваблюють інвесторів; -Фінансове спонсорство від іноземних інвесторів; -Можливість отримання довгострокових кредитів на екологічні проекти. 	<ul style="list-style-type: none"> -Розміри штрафів недостатні для попередження порушень; -Відсутність прямого доходу від очисних станцій; -Стрибки курсу, нестабільність економіки та інфляція гривні; -Загальне зниження рівня доходів у населення.
Географія	
<ul style="list-style-type: none"> -Оптимальні кліматичні умови для метаболізму вищих водних рослин та мікроорганізмів, що беруть участь у процесах очищення стічних вод; -Забезпеченість територіальними ресурсами для побудови очисних споруд; -Значна кількість природних водойм. 	<ul style="list-style-type: none"> -Низький температурний режим в зимовий сезон; -Поява нових промислових комплексів; -Погіршення стану та якості поверхневих вод.
НТП	
<ul style="list-style-type: none"> -Впровадження нових технологій, які можна вдосконалювати; -Новітнє сучасне обладнання з можливістю автоматизації; -Наявність кваліфікованих робітників; -Обмін досвідом та знаннями з іншими країнами. 	<ul style="list-style-type: none"> -Використання застарілого, неефективного обладнання на очисних станціях; -Науково-технічний прогрес в Україні на крок позаду порівняно з іншими країнами; -Відсутність альтернативних більш ефективних технологій.
Культура	
<ul style="list-style-type: none"> -Охорона навколишнього середовища та здоров'я; -Збереження спадщини нащадкам; -Туризм і відпочинок. 	<ul style="list-style-type: none"> -Байдужість до проблеми; -Необізнаність населення; -Особиста вигода окремих прошарків людей.
Демографія	
<ul style="list-style-type: none"> -Наявний комплекс освітніх закладів; -Мінімальна конкуренція; -Можливість розвитку цієї сфери; 	<ul style="list-style-type: none"> -Недостатня кількість робочих міст.

У табл. 4.4 представлені зацікавлені сторони у реалізації стартап проєкту та частка їх впливу.

Табл. 4.4 Зацікавлені сторони

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проєкту	Цікавість її до проєкту	Загальний коефіцієнт впливу на проєкт
Суб'єкти внутрішнього середовища			
1. виробник	10	10	1,0
2. постачальник	10	5	0,50
3. споживачі	9	9	0,81
4. посередники	6	5	0,30
Суб'єкти зовнішнього середовища			
1. політичні структури	5	7	0,35
2. суб'єкти економічного середовища	8	5	0,40
3. власники географічних об'єктів	10	8	0,80
4. суб'єкти демографії	8	7	0,56
5. суб'єкти культурного середовища	7	6	0,42
6. суб'єкти НТП	6	6	0,36

4.2 Визначення ключових факторів успіху проєкту

Ключовими факторами успіху являються ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва та реалізації продукту.[58] У табл. 4.5 представлення фактори успіху визначені по методу Шонфільда.

Табл. 4.5 – Фактори успіху по методу Шонфільда

Фактор конкуренто-спроможності	Коефіцієнт вагомості	Значення без урахуванням коефіцієнтів			Значення з урахуванням коефіцієнтів		
		БО	ЗО	ЕД	БО	ЗО	ЕД
Ефективність очищення	0,3	10	8	9	3	2,4	2,7
Ціна	0,2	8	9	7	1,6	1,8	1,4
Безперервність процесу	0,1	10	7	6	1	0,7	0,6
Розміри споруд	0,1	7	9	8	0,7	0,9	0,8
Простота експлуатації	0,2	9	8	9	1,8	1,6	1,8
Екологічність	0,1	10	7	8	1	0,7	0,8

Оцінка проводиться за 10-ти бальною шкалою, де 10 – найвища оцінка, а 1 – найнижча. З урахуванням коефіцієнту вагомості факторів визначено бальну оцінку кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів та наведено графічне порівняння на рис. 4.1.

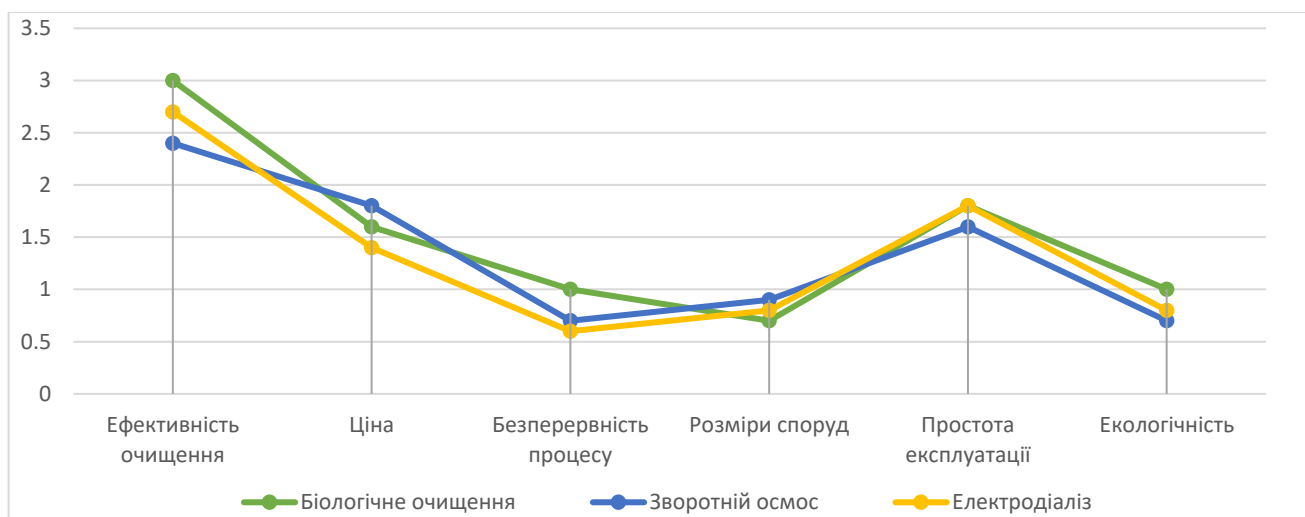


Рис. 4.1 – графік порівняння конкурентних переваг

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що технологія біологічно очищення стічних вод з використанням вищих водних рослин є більш ефективною, екологічною та може забезпечувати безперервність процесу у порівнянні з існуючими технологіями. Також дана технологія є сучасною та не передбачає використання великої кількості великогабаритного обладнання, що і зумовлює її інновацію [59]. У табл. 4.6 наведено можливі шляхи розвитку ідеї.

Табл. 4.6 – Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1. Технологія повністю заходить на ринок	Набір повноцінної команди для подальшого впровадження, удосконалення та поширення проекту
2. Технологія частково заходить на ринок	Набір мінімально необхідної команди, удосконалення технології, пошук партнерів
3. З'являється технологія з кращими показниками	Удосконалення технології для покращення показників та робота над зменшенням капіталовкладень, пошук партнерів

4.3 Визначення потенційного споживачів

Було проведено попередній аналіз потенційного ринку стартап-проекту. Результати сформовано у табл. 4.7-4.8

Табл. 4.7 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Загальний обсяг продаж	Від невеликих до повномасштабних станцій
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідний дозвіл експертизи, яка проводить перевіру робочої документації проекту
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація зовнішні мережі та споруди
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30-60%

Табл 4.8 Класифікація потенційних споживачів

Юридична особа	
Критерій	Значення
1. Форма власності	Державне, приватне, комунальне
2. КВЕД	Е – водопостачання, каналізація, поводження з відходами
3. За потужністю	Малі, середні, великі
4. За масштабом виробництва	Одиничні, серійні
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, комбіновані
6. За ресурсами, що споживаються	Матеріаломісткі, працемісткі
7. За чисельністю персоналу	Малі, середні
8. За сферою діяльності	Виробничі, комерційні
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні
10. За географічним розташуванням	Україна
11. За віддаленістю органів управління	національні
12. За характером господарської діяльності	промислові
13. За рівнем технологічної цілісності	провідні
14. За долею іноземного капіталу	-
15. За формуванням статутного капіталу	унітарні
16. За організацією виробничих процесів	безперервні
17. За роботою протягом року	позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	По всій території
19. За наявністю вільних ОБЗ (коштів)	-

4.4 Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту

Передбачається запуск очисних станцій з мінімальною витратою стічних вод 20 000м³/добу. Передбачувані змінні витрати на одиницю товару – 2 грн

1. Розрахунок ціни продукції витратним методом Розрахунок включає 20% від собівартості – мінімальний рівень рентабельності [60].

Очікувана собівартість стартап-продукту встановимо на рівні 6,40 грн/од

$$\Pi = C + \text{фіксований відсоток прибутку (від собівартості) (грн /од)}, \quad (5.1)$$

де Π – прогнозована ціна товару, грн; C – розрахована очікувана собівартість товару, грн/од.

$$\Pi = 6,4 + 3,4 = 9,8 \text{ (грн/од)}$$

За такої ціни будуть покриті всі витрати на виробництво, однак прибуток буде доволі низьким, що не може задовольнити нас в повній мірі.

2. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод. Даний метод розрахунку базується на аналізі цін на продукт конкурентів [60].

Конкурент 1 – ціна 9,50 грн, конкурент 2 – ціна 10,00 грн, конкурент 3 – 11,00 грн. Тоді:

$$\Pi = \frac{\Pi_{к1} + \Pi_{к2} + \Pi_{к3}}{n} = \frac{9,5 + 10 + 11}{3} = 10,16 \left(\frac{\text{грн}}{\text{м}^3} \right) \quad (5.2)$$

Дану ціну можна вважати найкращою, так як вона покриває затрати на виробництво та проносить високий прибуток підприємство. Визначимо верхню межу собівартості розробки з урахуванням законодавства України, щодо ціноутворення.

Відпускна ціна продукту без врахування торгової надбавки (не більше 12%) становить:

$$\Pi_{\text{відп.}} = 10,16 - (10,16 \cdot 0,12) = 8,94 \text{ (грн)} \quad (5.3)$$

Ціна виробника без врахування ПДВ (7%):

$$\Pi_{\text{вир}} = 8,94 - (8,94 \cdot 0,07) = 8,31 \text{ (грн)} \quad (5.4)$$

Ціна виробника включає прибуток підприємства на собівартість виробництва.

Мінімальний прибуток підприємства встановлюємо на рівні 15%, тоді собівартість продукції буде становити становити:

$$C_{\text{од}} = 8,31 - (8,31 \cdot 0,15) = 7,06 \text{ (грн)} \quad (5.5)$$

Пропускна здатність очисної станції становить 7 300 000 м³/рік. Розрахуємо верхню межу собівартості:

$$C = 7,06 \cdot 7\,300\,000 = 51\,563\,550 \text{ (грн)} \quad (5.6)$$

Складемо калькуляцію з урахуванням етапів розробки і впровадження, реалізації стартап-проекту (табл. 4.9).

Табл. 4.9 – Калькуляція собівартості стартап-продукту

№ п/п	Етап розробки/ елемент собівартості	Кількісний показник	Вартісний показник
1	Розробка проекту	10%	5 056 355
2	Проходження експеризи	5%	2 528 177,5
3	Закупівля обладнання та складових	40%	20 225 420
4	Будівництво	35%	17 697 242,5
5	Пуско-налагоджувальні роботи	10%	5 056 355

Оцінюємо відповідність розробки реальним вартісним показникам основних і оборотних засобів стартапу (табл. 4.10, табл. 4.11).

Табл. 4.10 – Забезпеченість проекту основними засобами

Місце у тех. проц.	Назва ОЗ	Повні початкова вартість ОЗ	Плановий період експлуатації	Очікуваний постачальник	Джерело фінансува ння придбанн я
1	2	3	4	5	6
Допоміжні роботи	Будівлі	140000	30	«Каупер»	Фінансові інвестиції , прибуток підприємс тва на якому здійснює ться реконстру кція, кредитува ння
	Аварійний амбар	25000	15	«Каупер»	
	Установки приготування і дозування реагентів	28000	15	«PROMVIT»	
	Мішалка	30000	10	«Хост»	
	Повітродувна станція	100000	25	«ZELKO Group»	
	Зливостік	20000	15	«АСО»	
	Запірна арматура	50000	7	«Євротрубпла с»	
	Насос	208000	10	«Aquatica»	
	Обладнання лабораторії	650000	20	«Химтест»	
	Трубопровід	250000	8	«Євротрубпла с»	

Продовження табл. 4.10

Біологічне очищення	Сито механічне	7500	8	«Акваполімер»	
	Усереднювач	25000	20	«Акваполімер»	
	Відстійник	80000	40	«Акваполімер»	
	Аеротенк	200000	30	«Акваполімер»	
	Система аерації	48000	7	«SoftWave»	
Доочищення	Біоставок	25000	40	«Екопруд»	
Зберігання відходів	Мулові майданчики	11000	10	«Каупер»	

Табл. 4.11 Забезпеченість проекту оборотними фондами

Група ОбФ	Назва	Норма витрат грн/рік,	Ціна, грн/од	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування
Сировина/ матеріали	Матеріали для лабораторії та технології	15000000	-	Хімтест	Фінансові інвестиції, прибуток підприємства на якому здійснюється реконструкц., кредитування
Паливо, електроенергія	Паливо	500000	25	АЗС	
	Електроенергія силова	2522790	3	Комунальні або приватні	
	Електроенергія, що витрачається на освітлення	180600	3	Комунальні або приватні	
	Теплова енергія	1953900	1503	Комунальні або приватні	
	Водопостачання	600800	7,51	Комунальні або приватні	
Запасні частини	Запасні частини	2500000	-	Від виробників основного обладнання	

Розрахунок вартості електроенергії проводили шляхом множення розрахункової кількості електричної енергії на її собівартість. Вартість електроенергії визначали відповідно до постанов Кабінету міністрів України.

Табл. 4.12 – Амортизаційні відрахування підприємства за рік

Найменування об'єкта	Вартість, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн/рік
1. Будівлі та споруди			
Споруди	265 000	5	13 250
2. Обладнання			
Виробниче обладнання	1 554 500	20	310 900
Інструменти	100 000	5	5000
Виробничо- господарський інвентар	15 000	10	1500
Всього:	1 934 500		330 650

Таким чином, загальна сума амортизаційних відрахувань підприємства становить за рік 330 650 грн./рік. Забезпечення стартап-проекту трудовими ресурсами наведена в табл. 4.13. Загальна чисельність персоналу на підприємство становить 10 осіб – адміністративно-технічний та виробничий персонал.

Табл. 4.13 – Забезпеченість стартап-проекту трудовими ресурсами

№	Посада	Кваліфікація	Кіль- ть	Заробітня плата, грн		
				Працівника за місяць	Всього за місяць	Всього за рік
1	Директор	Високо- кваліфікована	1	25 000	25 000	300 000
2	Бухгалтер	Високо- кваліфікована	1	15 000	15 000	180 000

3	Інженер-тех. підтримки	Високо-кваліфікована	2	18 000	36 000	432 000
4	Інженер-технолог	Високо-кваліфікована	2	20 000	40 000	480 000
5	Лаборант	Високо-кваліфікована	2	15 000	30 000	360 000
6	Головний технолог	Високо-кваліфікована	1	20 000	20 000	240 000
7	Аналітик	Високо-кваліфікована	1	15 000	15 000	180 000
Всього:					2 172 000	
Єдиний соціальний внесок (22%)					477 840	
ФОП _{вироб.}					2 524 118	
ФОП _{заг}					4 696 118	

Джерела фінансування ФОП: прибуток, одержаний від попередньої діяльності та фінансові інвестиції.

За методом точки беззбитковості визначимо мінімальну кількість виробництва та порівняємо її значення із заплановим річним випуском [61]:

$$Q_{б/бз} = \frac{FC}{P - AVC} \quad (5.7)$$

де $Q_{б/бз}$ – мінімальна кількість продукції, яку необхідно виготовити, щоб досягти точки беззбитковості, шт.; FC- постійні витрати підприємства, грн; P – ціна продукції, грн; AVC – питомі зміни витрат, грн/шт.

Визначимо питомі зміни витрат:

$$AVC = \frac{VC}{Q} \quad (5.8)$$

До змінних витрат можна віднести сировину і матеріали, що використовуються під час виробництва. Вартість сировини і матеріалів стартаппроекту складає 15 000 000 грн., тоді питомі зміни витрат становитимуть:

$$AVC = \frac{15\,000\,000}{7\,300\,000} = 2,06 \text{ (грн/м}^3\text{)} \quad (5.9)$$

Постійні витрати підприємства включають в себе амортизаційні відрахування та ФОП_{заг.} Загальна сума яких складає 5 026 786 грн.

Тоді $Q_{6/63}$ з врахуванням обраної ціни (10,16 грн.) становитиме:

$$Q_{6/63} = \frac{5\,026\,786}{10,16 - 2,06} = 846260,2 \text{ (м}^3\text{)}$$

Розрахунок річної собівартості стартап-проекту наведено в табл. 4.14.

Табл. 4.14 – Калькуляція собівартості очищеної води

Стаття калькуляції	Витрата на річну програму, грн./рік	Витрата на одиницю готової продукції, грн./м ³
Основна сировина	0	0
Допоміжні матеріали	1 934 000	0,27
Енерговитрати, водопостачання та водовідведення	5 758 090	0,79
Заробітна плата персоналу очисної станції	4 696 118	0,64
Нарахування на заробітну плату	477 840	0,006
Амортизаційні витрати	330 650	0,05
Інші витрати очисної станції	17 500 000	2,39
Вартість виробничих основних фондів	15 934 500	2,18
Повна собівартість	46 631 198	5,56

Інші техніко-економічні показники проекту наведені в табл. 4.15.

Табл. 4.15 Техніко-економічні показники стартап-проекту

Показник	Одиниця виміру	Умовне позначення	Значення	
			Етап розробки	Етап реалізації
1.Річний обсяг реалізації ідеї	Од.	В	7 300 000	
2.Ціна на продукцію (з конкурентним методом)	Грн.	Ц	10,16	
3.Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	$Ч_{\text{сп}}$	4	10
4.Капіталовкладення у проект -всього	Грн Грн./од	$K=OF+OBK$	25 155 590	
5.Повна собівартість -всього	Грн./од	$C=A+OBK$	46 631 198	
6. Рентабельність	%	$P=(\Pi/C) \times 100$	62	70
7.Фондовідача виробничих фондів	Грн./грн	$\Phi B=(\Pi \times V)/OF$	13,3	16,01
8.Фондоємність	Грн./грн	$\Phi \epsilon=1/\Phi B$	0,075	0,062

4.5 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту

Карта бізнес-процесів представлена в табл. 4.16

Табл. 4.16 Карта бізнес-процесів

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристика		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	Ідентифікація потреб споживача	інформаційні тенічні людські	2 дні	1000
	Визначення технології виробництва	інформаційні тенічні людські	16 днів	1000

Розробка ідеї стартапу	Визначення планового обсягу виробництва	інформаційні тенічні людські	1 день	1000
	Визначення джерел сировини	інформаційні тенічні людські	1 день	1000
	Характеристика персоналу	інформаційні тенічні людські	1 день	1000
	Опрацювання ринку збуту	інформаційні тенічні людські	2 дні	1000
	Аналіз зовнішнього та внутрішнього ринку	інформаційні тенічні людські	1 день	1000
	Аналіз ризиків і можливостей	інформаційні тенічні людські	1 день	1000
	Визначення ціни продукту	інформаційні тенічні людські	2 дні	1000
	Розрахунок економічних показників	інформаційні тенічні людські	6 днів	5000
Реалізація ідеї	Пошук інвесторів	Інформаційні людські	7 днів	10000
	Розробка дизайну	Інформаційні фінансові тенічні людські	7 днів	50000
	Розробка web-сайту	інформаційні фінансові тенічні людські	5 днів	10 0000

Продовження табл. 4.16

Реалізація ідеї	Розробка маркетингової політики	інформаційні фінансові людські	5 днів	25000
	Аналіз пропозицій виробників	тенічні людські	1 день	-
	Вибір і підписання договорів з виробниками	фінансові людські	1 день	10000
	Договір на оренду та використання територій	фінансові людські	2 дні	15000
	Найняти персонал	фінансові тенічні людські	30 днів	-
Впровадження у виробництво	Впровадження конструкцій	фінансові тенічні людські	5 днів	20 000
	Встановлення обладнання	фінансові матеріальні тенічні людські	30-69 днів	50000
	Впровадження маркетингу	фінансові матеріальні людські	7 днів	160000
	Пробний запуск станції	фінансові матеріальні тенічні людські	1 день	50000
Масова реалізація	Продаж технологій	фінансові матеріальні тенічні	-	50000
	Нарощування клієнтської бази	інформаційні фінансові людські	6 місяців	10000

Табл. 4.17 Карта бізнес-процесів виконання стартапу

Функції	Елементи						
	Директор	Бухгалтер	Інженер тех підтримки	Інженер-технолог	Лаборант	Головний технолог	Аналітик
Визначити політику і цілі розвитку організації	+						
Проінформування персоналу і передача інформації	+						
Аналіз зі сторони керівництва	+						
Прийняття коригуючих і попереджуючих рішень	+						
Визначення потреб в ресурсах			+		+		
Забезпечення ресурсами		+					
Управління персоналом		+					
Управління інфраструктурою				+			
Планування				+			+
Процеси вивчення потреб споживача				+			+
Проектування і розробка продукції	+		+			+	
Процес закупівлі		+					
Виробництво продукції і надання послуг			+		+		
Управління приладами для вимірювання і контролю			+				+
Підтвердження відповідності продукції							+
Підтвердження відповідності управління підприємством	+						
Постійні покращення	+			+			
Ведення документації		+					
Ведення веб сторінки				+			

4.6 Ризики та страхування розробки

Можна виділити наступні групи ризиків, що мають вплив на розробку:

1. Виробничі ризики: клієнт неефективно використовує оборотні і основні засоби, сировину, робочий час, споруди і технології. Причини виникнення виробничого ризику: зменшення розрахованого ефекту, ріст витрат

на матеріали і тд., сплата завищених податків, вихід з ладу обладнання. Коефіцієнт, що впливає на дохід становить 0,40-0,45.

2.Фінансові ризики: невиконання фінансових зобов'язань клієнтом. Причини виникнення фінансового ризику: інфляція, невчасне проведення оплати, ризик несплатоспроможності споживачів. Коефіцієнт впливу на дохід становить 0,98-0,99.

3.Страхові ризики: збитки, що викликані поганим страховим полісом. Коефіцієнт впливу на дохід становить 0,85-0,90.

4.Організаційні ризики: невчасне надходження матеріальних ресурсів, проблеми на ринку збуту. Коефіцієнт впливу на дохід становить 0,75-0,79.

5. Техніко-виробничі ризики: неконтрольоване нанесення шкоди навколишньому середовищу та екології загалом, ризик виникнення різного характеру аварійних ситуацій, неполадок, нещасних випадків. Коефіцієнт впливу на дохід становить 0,70-0,85.

Застрахуватись від ризиків можна наступним чином:

1. Систематичні дослідження у цій сфері. Систематична перевірка потреб споживача.
2. Отримання консультацій із сторони науково- дослідних інститутів. Залучення додаткових кадрів, що висококваліфіковані в області виробництва де можуть виникнути найбільше ризиків.
3. У штат набирати тільки викокваліфікований персонал.
4. Пропрацбвання всіх можливих варіантів з проблемами сировини і поставки. У договорі чітко визначити відшкодування у разі несвоєчасної або неякісної роботи. Створити страховий запас матеріалів та сировини.
5. Чітко визначити споживача та постійного клієнта.
6. Проведення випробувально-дослідних робіт, чітке виконання технологічного регламенту процесу.
7. Страхування майна

Табл. 4.18. Ризики інноваційної діяльності, де Н-низько; НС- нище середнього; С- середнє; ВС- вище середнього; В- високий

Фактори ризику		Ймовірність настання	Вплив на результат	Метод страхування
Організаційні ризики	Неефективна стратегія інноваційної діяльності підприємства	Н	С	Підбір декількох стратегій діяльності.
	Погане організування підрозділів, які займаються інноваційними розробками	С	ВС	Додатковий контроль. Набір кваліфікованого персоналу
	Диспропорції у виробництві.	ВС	НС	Додатковий контроль в проектуванні діяльності
Маркетингові ризики	Неефективний підбір відповідних маркетингових стратегій пропагування	Н	ВС	Проведення маркетингових досліджень.
	Неефективний підбір відповідних маркетингових стратегій впровадження інновацій	Н	С	Проведення маркетингових досліджень.
	Скорочення обсягів реалізації продукції	НС	С	Проведення маркетингових досліджень.
	Накопичення продукції на складах	С	НС	Проведення маркетингових досліджень.
Виробничі	Неефективний підбір відповідних технологій	Н	ВС	Оптимізація технологій
	Простоювання обладнання	НС	С	Контроль організації виробництва його оптимізація
	Порушення в циклічності виробництва	НС	С	Додатковий розрахунок тривалості циклу виробничого процесу за різних умов
	Неповне чи несвоєчасне постачання матеріалів.	НС	НС	Контроль взаємодії між підрозділами

Фінансові ризики	Брак необхідних для реалізації інноваційних проектів коштів	С	В	Пошук додаткових інвестицій
	Погіршення фінансового стану підприємства	НС	ВС	Контроль фінансово-економічного планування
	Нестача вільних обігових коштів	С	НС	Контроль фінансово-економічного планування
	Відсутність витрат інноваційно-інвестиційного характеру	НС	НС	Додаткове визначення рентабельності підприємства за різних умов
Ризики управління	Неспроможність штатних працівників підприємства самостійно реалізувати інноваційний проект	НС	С	Навчання працівників впродовж роботи
	Висока текучість кадрів	С	С	Належний підбір персоналу
	Низька якість виконання управлінських функцій	Н	НС	Навчання працівників впродовж роботи

Висновки до розділу

Втілення стартап проекту є перспективним з огляду на його конкурентоспроможність на ринку. Потреба у безперебійного постачання чистої води – основна з потреб, яку необхідно задовольняти, саме тому завжди буде попит з боку споживачів.

Зробивши первинний аналіз всіх факторів та показників, що впливають на проект, як з зовнішнього середовища, так і внутрішнього, ми визначили, що основними перевагами, які має запропонована технологія є: дешевизна, простота обслуговування, інновація, відсутність прямих конкурентів, екологічність методу.

Першими недоліками, які можуть негативно вплинути на реалізацію є небажання людей очищати забруднені стічні води, відсутність прямого доходу від очисних станцій, нестабільність гривні.

Серед ключових факторів успіху за методом Шонфільда було визначено ефективність та безперервність процесу очищення як найвагоміший важіль успіху.

Основні ризики, що можуть виникнути під час реалізації стартап проекту – недобросовісне ставлення з боку капіталовкладників, непрофесійно складений договір, проблеми з поставками сировини. Основними методами боротьби з ризиками в даному випадку є страхування, створення професійного штату, виконання вимог технологічної карти процесу.

Було розраховано собівартість очищення 1 м³ води, що отримана використовуючи таку технологію та становить 5,56 грн.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській дисертації було проведено аналіз сучасної літератури за останні 20 років стосовно сучасних екологічних проблем водокористування, причин та умов їх формування та шляхів їх вирішення. Визначено, що на гідрологічній карті світу евтрофікація є однією з найважливіших проблем, що викликають деградацію прісноводних екосистем. Евтрофікація, викликана надмірним збагаченням біогенними речовинами, призводить до зміни оліготрофних водних об'єктів на мезотрофні, евтрофічні та, нарешті, гіпертрофічні. Евтрофікація представляє загрозу для вод, які використовуються у рибному господарстві, рекреації, промисловості та питному водопостачанні, оскільки спричиняє посилений ріст ціанобактерій та водних макрофітів, що призводить до зниження концентрації кисню, загибелі та розкладання водної флори та фауни.

2. Було проведено аналіз технологій, що використовуються для очищення стічних вод від нітратвмісних сполук. Методи, здатні до елімінації такі як іонний обмін та зворотній осмос, пов'язані з проблемою підтримування неперервності роботи очисної системи. Потреба в розчині для регенерації та утилізації відходів додають до експлуатації додаткових витрат у цих методах.

Ідеальним процесом очищення від нітратів є біологічне очищення - економічно вигідний метод (здатен обробляти великі обсяги води за низькою вартістю). Крім того процес добре адаптується до різних навантажень забруднень та працює без додаткових реагентів.

Системи біологічного очищення розроблені з метою використання фізичних, хімічних та біологічних процесів, які відбуваються у природному середовищі, коли вода, вищі водні рослини, мікроорганізми та атмосфера взаємодіють у системі.

3. Експериментальні дослідження з визначення ефективності очищення води за допомогою ВВР *Lemna minor* від біогенних сполук азоту у вигляді нітратів проводили на базі кафедри екобіотехнології та біоенергетики

факультету біотехнології і біотехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Для проведення досліджень було використано експериментальні установки у вигляді модельних біоставків, круглих та прямокутних в плані, з об'ємом 50 та 160 мл, виготовлених з пластику та скла. Під час виконання експерименту модель біоставку заповнювали відповідним модельним розчином, додавали біологічний матеріал у вигляді рослин *Lemna minor* та залишали на необхідний проміжок часу під штучним освітленням.

4. В результаті виконаних 15 експериментів та обрахування даних було сформовано висновки стосовно ефективності вилучення біогенних сполук нітрогену з модельних розчинів концентрацією 18,9; 28,8; 48,6; 68,4 мг/дм³. У дослідях 1-4 було використано наважку 3,75 г біологічного матеріалу ряски *Lemna minor*, вміст ряски складав $C_p=25$ г/дм³; у дослідях 5-7, 14 наважка складала 1 г ($C_p=20$ г/дм³); у дослідях 8-10, 15 наважка – 1,5 г ($C_p=30$ г/дм³); у дослідях 11-13 наважка - 1,6 г ($C_p=32$ г/дм³). Було визначено вплив початкової концентрації забруднень, концентрації біомаси ряски (C_p), тривалості очищення (T), співвідношення шару ряски до шару води (γ), площі поверхні біоставка (S).

5. Було встановлено, що із збільшенням початкової конценентрації забруднень тривалість процесу очищення за використання ВВР виду *Lemna minor* необхідно збільшувати. Підбір тривалості процесу залежить від початкової концентрації іонів NO₃⁻, так для концентрацій C(NO₃⁻) до 28,8 мг/л найвищий ефект вилучення 97,1% досягаєть за тривалості 24-48 годин, а для C(NO₃⁻) до 68,3 мг/л – 97,5% за тривалості 48-72 годин. Рекомендовані значення навантаження по нітратам на 1 грам біомаси ряски складає для початкової концентрації C(NO₃⁻)=18,9 мг/л - 0,56 мг NO₃⁻/г; для концентрації C(NO₃⁻)=28,8 мг/л - 0,93 мг NO₃⁻/г; для концентрації C(NO₃⁻)=48,6 мг/л - 1,9 мг NO₃⁻/г; для концентрації C(NO₃⁻)=68,4 мг/л - 1,83 мг NO₃⁻/г, адже при більших значеннях навантаження зменшується ефективність процесу (при вмісті ряски $C_p=25$ г/дм³). Важливо підбирати для початкових концентрацій

забруднень відповідну тривалість очищення, адже у повномасштабному процесі важливо, щоб обладнання не простоювало.

6. Під час дослідження впливу площі поверхні біоставка S та співвідношення товщини шару ряски до глибини води, було встановлено, що кращі значення ефектів очищення від нітратів досягаються у спорудах з більшою площею поверхні.

Слід зауважити, що значення співвідношення χ для різної площі поверхні S , має різний вплив. Так, для дослідів 5, 8 та 11 зі збільшенням концентрації і збільшенням значення χ ефекти не збільшуються, це можна пояснити занадто великою товщиною шару ряски (0,5-0,8 см) та малою площею споруди (19,6 см²). У такому шарі частина рослина недоотримує світла, а друга – не контактує з розчином. Аналогічно у дослідях 7, 10 та 13. А ось у дослідях 6, 9 та 12 таке збільшення концентрацій та співвідношення χ дозволяє відбуватися процесам з ефектами очищення від нітратів більше 50%. Можна припустити, якщо збільшити тривалість очищення або значення співвідношення χ у дослідях 9 та 12 (де $S=78,53$ см²), то ефекти видалення нітратів збільшаться.

7. Порівнюючи значення кінцевих концентрацій $C(\text{NO}_3^-)$ при різних співвідношеннях χ та концентраціях C_p , можна зробити висновок, що процес краще проходить при значеннях $\chi=0,21$ та $C_p=20$ г/дм³. Можна зробити припущення, що наефективніший процес очищення від нітратів може відбуватись за зазначень, які належать проміжку досліджених, тобто для χ між значеннями 0,21- 0,3, а для C_p у проміжку між 20-30 г/дм³ за площі поверхні біоставка $S=19,6$ см².

8. Стартап проект є перспективний з огляду на його можливість ринкової конкуренції та комерціалізації. Зробивши глибокий аналіз всіх факторів, що впливають на проект як із зовнішнього середовища, так і внутрішнього, основними перевагами, якими володіє дана технологія є дешевизна, простота обслуговування, інновація, відсутність прямих конкурентів, екологічність методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ferdoushi Z., Haque F., Khan S., Haque M.*, The effects of two aquatic floating macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as biofilters of nitrogen and phosphate in fish ponds, *Turkish J. Fish. Aquatic Sci.*, 2008, 8 (2).
2. *Xu J., Shen G.*, Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production, *Biores. Technol.*, 2011, 102 (2), 848.
3. *Oron G., De-Vegt A., Porath D.*, Nitrogen removal and conversion by duckweed grown on wastewater, *Water Res.*, 1998, 22 (2), 179.
4. *Mohedano R.A., Costa R.H., Tavares F.A., Belli Filho P.*, High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds, *Biores. Technol.*, 2012, 112, 98.
5. *Cheng J., Landesman L., Bergmann B.A., Classen J.J., Howard J.W., Yamamoto Y.T.*, Nutrient removal from swine lagoon liquid by *Lemna minor* 8627, *Transactions of the ASAE.*, 2002, 45 (4), 1003.
6. *Sabli L., Konontsev S., Grokhovska J., Widomski M., et. al.* Nitrogen removal from fish farms water by *Lemna minor* and *Wolffia arrhiza*. *Proceedings Society of Ecological Chemistry and Engineering (SEChE)*. Opole (Poland). 2016. Vol. 10. No. 2. P. 499-504.
7. *Ansari A.* (2014) *Eutrophication: causes, consequences and control*, vol 2. Springer, The Netherlands, p 262
8. *Naeem M., Idrees M., Khan MMA.* Task of mineral nutrients in eutrophication. In: *Ansari AA, Gill SS (eds) Eutrophication: causes, consequences and control*, vol 2. Springer, The Netherlands, pp 223–237
9. *Berman T, Bronk DA* (2003) Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. *Aquat Microb Ecol* 31:279–305
10. *Glibert PM, Heil CA, Hollander D, Revilla M, Hoare A, Alexander J, Murasko S* (2004) Evidence for dissolved organic nitrogen and phosphorus uptake during a cyanobacterial bloom in Florida Bay. *Mar Ecol-Prog Ser* 280:73–83
11. *Zhang X, Liu P, Yang Y, Chen W* (2007) Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *J Environ Sci China* 19:902–909

12. Нітрати як медико-біологічна проблема сучасного суспільства // Мат. IV Міжнар. конф. “Фальцфейнівські читання”. - Херсон : Terra, 2005. - С. 96-99.
13. Нітратне забруднення питної води та захворюваність дітей // Зб. наук. праць співробітників КМАПО ім. П. Л. Шупіка. - 2002. - Вип. 11, кн. 3. - С. 585-680.
14. Envirogen Technologies, Inc. (2004) High Efficiency Ion Exchange for Arsenic and Nitrate.
15. Keller, M. (2000). Removing nitrate by ion exchange. *Water Technology*, 23. Kemper, J.M., Westerhoff, P., Dotson, A. & Mitch, W.A. (2009)
16. Cevaal, J.N., Suratt, W.B. & Burke, J.E. (1995) Nitrate removal and water quality improvements with reverse osmosis for Brighton, Colorado. *Desalination*, 103, 101–111.
17. Banasiak, L. & Schafer, A. (2009) Removal of boron, fluoride and nitrate by electrodialysis in the presence of organic matter. *Journal of Membrane Science*, 334, 101–109.
18. GE (General Electric Company). (2008) GE 2020 EDR Systems: Electrodialysis Reversal Technology. GE Water & Process Technologies.
19. Alowitz, M.J. & Scherer, M.M. (2002) Kinetics of nitrate, nitrite, and Cr(VI) reduction by iron metal. *Environmental Science & Technology*, 36, 299–306.
20. Choe, S., Liljestrand, H.M. – Khim, J. (2004) Nitrate reduction by zero-valent iron under different pH regimes. *Applied Geochemistry*, 19, 335–342.
21. Salas, J. J., et al., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de agua residuales. ISBN 978-84-611-6882-8
22. Vymazal J (2007) Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci Total Environ* 380:48–65
23. Nalbur Erol, B., Akca L., and Bayhan H.: Nitrogen removal during secondary treatment by aquatic systems. *Water Sci. Technol.*, 48, 355-361 (2003).
24. Stottmeister, U.; Wiessner, A.; Kusch, P.; Kappelmeyer, U.; Kastner, M.; Bederski, O.; Muller, R.A.; Moormann, H. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnol. Adv.* 2003, 22, 93–117.
25. Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Homyok, K. (2004). Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Science Asia*, 30, 93-103

26. Uysal, Y., Zeren, O. "Removal efficiencies of nutrients from wastewater treated with duckweed (*Lemna minor* L.)", Fresen. Environ. Bull., 13 (10), 1016-1019, 2004.
27. Ran, N., Agami, M., Oron, G. "A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel", Wat. Res., 38, 2241-2248, 2004.
28. Krishna, K.C.B., Polprasert, C. "An integrated kinetic model for organic and nutrient removal by duckweed-based wastewater treatment (DUBWAT) system", Ecol. Eng., 34 (3), 243-250, 2008.
29. Metcalf and Eddy Inc., 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse 3rd Edition. McGraw Hill
30. Lasfar, S., Monette, F., Millette, L., Azzouz, A. "Intrinsic growth rate: A new approach to evaluate the effects of temperature, photoperiod and phosphorusnitrogen concentrations on duckweed growth under controlled eutrophication", Wat. Res., 41 (11), 2333-2340, 2007.
31. U.S. Environmental Protection Agency, 2000. Constructed Wetlands Treatment of Municipal wastewater, EPA/625/R-99/010
32. Patel DK, Kanungo VK (2010) Phytoremediation potential of Duckweed (*Lemna minor* L: a tiny aquatic plant) in the removal of pollutants from domestic wastewater with special reference to nutrients. Bioscan 5:355–358
33. Allen, W.C., P.B. Hook, J.A. Biederman and O.R. Stein: Temperature and wetland plant species effects on wastewater treatment and root zone oxidation. J. Environ. Qual., 31, 1010-1016 (2002).
34. Dalu, J. M., Ndamba, J. "Duckweed based wastewater stabilization ponds for wastewater treatment (a low cost technology for small urban areas in Zimbabwe)", Phys. and Chemist. of the Earth Parts A/B/C, 28 (20-27), 1147-1160, 2003.
35. Monette, F., Lasfar, S., Millette, L., Azzouz, A. "Comprehensive modelling of mat density effect duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication", Wat. Res., 40, 2901-2910, 2006.
36. Skillicorn, P., Spira, W. and Journey, W. "Duckweed aquaculture- a new aquatic farming system for developing countries", The World Bank. Washington, D.C. 76s., 1993.
37. Bonomo, L., Pastorelli, G., Zambon, N. "Advantages and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems", Wat. Sci. Technol., 35 (5), 239-246, 1997.

38. *Körner, S., Lyatuu, G.B., Vermaat, J.E.* "The influence of *Lemna gibba* L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater", *Wat. Res.*, 32 (10), 3092-3098, 1998.
39. *Al-Nozaly, F., Alaerts, G., Veenstra, S.* "Performance of duckweed covered sewage lagoons-II. Nitrogen and phosphorus balance and plant productivity", *Wat. Res.*, 34 (10), 2734-2741, 2000.
40. *Hillman, W. S., and D. D. Culley.* 1978. "The Uses of Duckweed." *American Scientist*. 66(July): 442-51.
41. *Ge X., Zhang N., Phillips G.C. and Xu J.,* —Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol, *Bioresource technology*, vol. 124, pp. 485-488, 2012.
42. *Cheng J.J. and Stomp A.M.,* —Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed, *Clean– Soil, Air, Water*, vol. 37(1), pp. 17-26, 2009.
43. *Landolt E. and Kandeler R.,* —Biosystematic investigations in the family of duckweeds (*Lemnaceae*), Vol. 4: The family of *Lemnaceae*-a monographic study, Vol. 2 1987
44. *Zhao Z., Shi H., Liu Y., Zhao Y, H., Su H., Wang M. and Zhao Y.,* —The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater., *Bioresource technology*, vol. 167, pp. 383-389, 2014.
45. *Caicedo J.R., Van der Steen N.P., Arce O. and Gijzen H.J.,* —Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*), *Water research*, vol. 34(15), pp. 3829-3835, 2000.
46. *Körner S., Das S.K., Veenstra S. and Vermaat J.E.,* —The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*, *Aquatic botany*, vol. 71(1), pp. 71-78, 2001.
47. Performance and process analysis of duckweed-covered sewage lagoons for high strength sewage. The case of Sana'a Yemen. Ph.D. Thesis, IHE, The Netherlands
48. *Bui Huy Nhu Phuc; Lindberg, J. E.; Ogle, B.; Thomke, S.,* 2001. Determination of the nutritive value of tropical biomass products as dietary ingredients for monogastrics using rats: 1. comparison of eight forage species at two levels of inclusion in relation to a casein diet. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 14 (7): 986-993

49. *Damry ; Nolan, J. V. ; Bell, R. E. ; Thomson, E. S.*, 2001. Duckweed as a protein source for fine-wool Merino sheep: its edibility and effects on wool yield and characteristics. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 14 (4): 507-514
50. *Lahive E, O'Callaghan MJA, Jansen MAK, O'Halloran J* (2011) Uptake and partitioning of zinc in *Lemnaceae*. *Ecotoxicology* 20:1992–2002
51. *Weis, J.S.; Weis, P.* Metal uptake, transport and release by wetland plants: Implications for phytoremediation and restoration. *Environ. Int.* 2004, 30, 685–700.
52. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №316 [Чинні від 2017-01-12].
53. ГОСТ 32426-2013 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста.
54. ГОСТ 4192-82 Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ
55. Паспорт ГРБА. 418422.015-02 ПС Электрод ионоселективный ЭЛИС-121 NO₃⁻// ООО “Измерительная техника”.- 5 с.
56. *Бойчик І.М* Економіка підприємства/ І.М.Бойчик. – К.: Кондор - Видавництво, 2016. – 378 с.
57. *Іванілов О.С.* Економіка підприємства / О.С. Іванілов. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 728 с.
58. *Примак Т.О.* Маркетинг / Т.О. Примак. – К. : МАУП, 2004. – 228 с.
59. *Фатхутдінов Р.А.* Управління конкурентоспроможністю організації / Р.А. Фатхутдінов, Г.В. Осовська. – К. : Кондор, 2009. – 470 с.
60. *Румянцева З.П.* Загальні основи керівництва підприємством. Теорія та практика.– М.: ИНФРА-М, 2001. – 304 с.
61. *Лігоненко Л.О.* Антикризове управління підприємством: теоретико-методологічні засади та практичний інструментарій. / Лігоненко Л.О. – К. : Київ. Нац. торг.-екон. ун-т, 2001. – 580 с.